

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

CARLOS HENRIQUE SOPCHAKI

ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO DE
FORMAS DE VERTENTE – ESTUDO DE CASO NAS BACIAS DO RIO MARUMBI E
DO ARROIO DO CORVO - PR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA
2012

CARLOS HENRIQUE SOPCHAKI

ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO DE
FORMAS DE VERTENTE – ESTUDO DE CASO NAS BACIAS DO RIO MARUMBI E
DO ARROIO DO CORVO - PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Tony Vinicius Moreira
Sampaio

CURITIBA
2012

Sopchaki, Carlos Henrique

Análise comparativa de metodologias para o mapeamento de formas de vertente: estudo de caso nas Bacias do Rio Marumbi e do Arroio do Corvo - PR / Carlos Henrique Sopchaki. – Curitiba, 2012.

89 f. : il.; graf., tab. + mapas

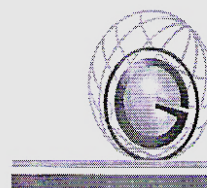
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Orientador: Tony Vinicius Moreira Sampaio

1. Bacias hidrográficas - Mapeamento geomorfológico. I. Sampaio, Tony Vinicius Moreira. II. Título.

CDD 551.41

MEC-UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
- MESTRADO E DOUTORADO



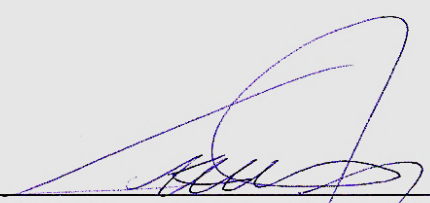
PARECER

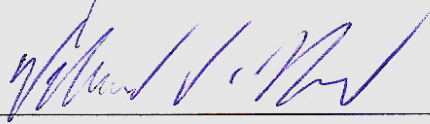
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **Carlos Henrique Sopchaki**, intitulada **“ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO DE FORMAS DE VERTENTES - ESTUDO DE CASO NAS BACIAS DO RIO MARUMBI E DO ARROIO DO CORVO - PR”**, para obtenção do grau de Mestre em Geografia, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **Espaço, Sociedade e Ambiente**, Linha de Pesquisa **Paisagem e Análise Ambiental**.

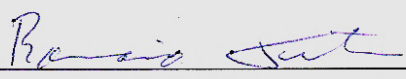
Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de parecer pela Aprovação da Dissertação.

Curitiba, 13 de março de 2012.

Nome e Assinatura da Banca Examinadora:


Prof. Dr. Tony Vinicius Moreira Sampaio - Orientador


Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula – UFPR


Prof. Dr. Romário Trentin – UFSM

Dedico este trabalho às pessoas que eu amo.

Em especial:

Aos meus pais: João e Marlize.

À minha esposa: Samara.

À minha filha: Kauane.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, pela estrutura disponibilizada para o meu aprendizado desde a graduação;

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPR, pela oportunidade de estar fazendo este mestrado;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal em Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de fomento;

Ao Prof^o Dr. Tony Vinicius Moreira Sampaio, pela orientação, dedicação, amizade e pelas boas conversas. Tony, muito obrigado!

A todos os professores do Departamento de Geografia da UFPR, por nunca terem se negado a dividir o seu vasto conhecimento;

Aos professores Dr. Fabiano Antonio de Oliveira e Dr. Leonardo José Cordeiro Santos pelas contribuições sugeridas na banca de qualificação;

Ao professor Dr. Romario Trentin (UFSM), pelas importantes contribuições sugeridas e por participar da banca de defesa;

Ao professor Dr. Claudinei Taborda da Silveira, por ter gentilmente cedido os dados referentes à Bacia do Arroio do Corvo e pelas importantes contribuições sugeridas para esta pesquisa;

Ao professor Dr. Eduardo Vedor de Paula, por participar da banca de defesa;

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Sr. Luiz Carlos Zem, pela competência, amizade e por estar sempre disposto a ajudar! Obrigado Zem!

Às meninas da Revista Geografar, Simone e Laura, pela amizade, pelo trabalho em equipe e pelas boas risadas;

Aos meus amigos Luís Fernando Lopes e Janice Mendes da Silva, pelo incentivo e apoio que deram nesta reta final;

Aos meus grandes amigos, que mesmo distantes, puderam compreender uma ausência ainda maior: Karl, Fábio, Atani, Fanuel e Cabral. Obrigado por esses 17 anos de amizade verdadeira!

Ao Juliano, pela companhia, pelo apoio, pelas palavras e atitudes de incentivo, pela mais verdadeira e sincera amizade. Juba, valeu parceiro!

Aos amigos que já se foram, em especial ao Roraí Pereira Martins, por ter sido exemplo de luta e perseverança e por sempre ter me ensinado a ir em busca dos meus sonhos;

À minha cunhada, Bárbara Patrícia Horn, por sempre estar disposta a ajudar;

Aos meus sobrinhos: Juliana, João Augusto, Pedro e Arthur, por terem compreendido as minhas ausências;

Aos meus irmãos, Simone e Guto, por sempre terem me incentivado, pela compreensão nos momentos em que estive ausente e pela paciência nos momentos difíceis. Amo vocês!

Aos meus pais, João e Marlize, que mesmo com pouco estudo, são símbolos da boa educação; por nunca terem desistido de mim, por sempre terem me incentivado (incondicionalmente) e por terem me acolhido em sua casa, juntamente com minha esposa e minha filha, para que eu pudesse concretizar o sonho de fazer esse mestrado. Pai e mãe vocês são os meus maiores exemplos, sem vocês jamais teria chego até aqui. Muito obrigado por tudo, mas principalmente pela educação que sempre lutaram para nos propiciar. Eu amo vocês!

À minha pequena Kauane, que com apenas 4 anos se viu obrigada a passar por muitas mudanças em sua vida para que eu pudesse realizar essa pesquisa. Filha, obrigado por você existir. Papai ama muito você!

E em especial, à minha amada esposa Samara, que teve que abrir mão de várias coisas, inclusive de momentos de convívio, para que eu pudesse fazer esse mestrado. Sá, obrigado pela convivência, obrigado pela cumplicidade, obrigado pela paciência e obrigado por fazer parte de minha vida! Amo muito você! De certa forma, o resultado dessa dissertação também é seu!

*"O correr da vida embrulha tudo.
A vida é assim: esquenta e esfria,
aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta.
O que ela quer da gente é coragem."*

João Guimarães Rosa
Grande Sertão: Veredas

RESUMO

O mapeamento geomorfológico é utilizado em larga escala para fins de planejamento territorial e ambiental, contudo ainda existem várias lacunas no que diz respeito à identificação de formas de vertentes. Há problemas tanto no que se refere aos conceitos, quanto às metodologias. Diferentes mapeadores utilizando uma mesma base de dados podem chegar a resultados diferentes, ora por divergências no conceito, ora por divergências de metodologia e em alguns casos divergem no resultado mesmo aplicando o mesmo conceito e metodologia. O objetivo desta pesquisa foi o de verificar se há alguma padronização no mapeamento de forma de vertentes. Para que tal objetivo pudesse ser atingido foi efetuada uma comparação e análise estatística das formas observadas em mapeamentos já realizados, frente aos padrões morfométricos disponibilizados pela base de dados do projeto TOPODATA, elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As áreas de estudo escolhidas foram a Bacia Hidrográfica do rio Marumbi, em Morretes/PR e a Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo, em Pinhais/PR. Concluiu-se que não há uniformidade entre os resultados dos mapeamentos das formas das vertentes, evidenciando desta forma a grande dificuldade em se aplicar os conceitos de vertente. Os resultados sugeriram também que há ainda muitas questões a serem equacionadas no que diz respeito à morfometria de vertentes.

Palavras chave: Formas de vertente. Perfil de curvatura. Plano de curvatura. TOPODATA. Rio Marumbi. Arroio do Corvo.

ABSTRACT

The geomorphological mapping is widely used for spatial and environmental planning; however there are still several gaps as regards the identification of slope forms. There are problems both with regard to the concepts, the methodologies. Different researchers using the same database can come to different results, sometimes by differences in the concept, sometimes by differences in methodology and in some cases differ in the outcome even applying the same concept and methodology. The objective of this research was to determine if there is any pattern in the form of mapping aspects. For this objective could be achieved was made a comparison and statistical analysis of the forms observed in mappings already made, compared to the patterns provided by morphometric database TOPODATA project, prepared by the National Institute for Space Research (INPE). The study areas chosen were the River Basin Marumbi in Morretes/PR and the River Basin Arroio do Corvo, in Pinhais/PR. It was concluded there is no uniformity among the results of mapping the slope forms, thus demonstrating the great difficulty in applying the concepts of slope. The results also suggested that there are still many questions to be solved in regard to morphometry of slopes.

Keywords: Slope forms. Profile curvature. Plan curvature. TOPODATA. Marumbi River. Corvo Stream.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO MARUMBI	18
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO ARROIO DO CORVO	21
FIGURA 3 - VERTENTE EM PERFIL E SEGMENTO DE VERTENTE EM TRÊS DIMENSÕES.....	27
FIGURA 4 - NOVE UNIDADES HIPOTÉTICAS NO MODELO DE VERTENTE	28
FIGURA 5 - QUATRO TIPOS BÁSICOS DE VERTENTES E OS PROCESSOS ATUANTES	29
FIGURA 6 - GEOMETRIA DAS FORMAS DAS VERTENTES.....	30
FIGURA 7 - CURVATURA VERTICAL CONFORME PERFIL ASSUMIDO PELAS CURVAS DE NÍVEL	31
FIGURA 8 - FOTO DENOMINADA COMO 'PERFIL CONVEXO' PELO IBGE – SANTA ROSA DA SERRA/MG	35
FIGURA 9 - FOTO DENOMINADA COMO 'PERFIL RETILÍNEO' PELO IBGE – TERESÓPOLIS/RJ.....	35
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA PARA ELABORAÇÃO DO MDE – TOPODATA	40
FIGURA 11 - O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS TOPOGRÁFICOS – TOPODATA.....	41
FIGURA 12 - <i>CURVATURE</i> – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA JANELA 3X3 E POLINÔMIO DE QUARTA ORDEM.....	42
FIGURA 13 - ESQUEMA PARA IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE VERTENTES...	43
FIGURA 14 - ESQUEMA DE GERAÇÃO ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS.....	45
FIGURA 15 - EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DE PERFIL E PLANO DE CURVATURA DE VERTENTES.....	46

LISTA DE MAPAS

MAPA 1 - BACIA DO RIO MARUMBI – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL DE ACORDO COM A BASE DE DADOS DO TOPODATA.....	48
MAPA 2 - BACIA DO RIO MARUMBI – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL CONFORME CUNICO (2007)	49
MAPA 3 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR CUNICO COMO CÔNCAVOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	51
MAPA 4 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR CUNICO COMO RETILÍNEOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	52
MAPA 5 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR CUNICO COMO CONVEXOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	53
MAPA 6 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR CUNICO COMO PLANÍCIE – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA	54
MAPA 7 - BACIA DO RIO MARUMBI – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL SEGUNDO KOZCIAK	57
MAPA 8 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR KOZCIAK COMO CÔNCAVOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	58
MAPA 9 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR KOZCIAK COMO RETILÍNEOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	59

MAPA 10 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR KOZCIAK COMO CONVEXOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	60
MAPA 11 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	62
MAPA 12 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL SEGUNDO SILVEIRA.....	63
MAPA 13 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO CÔNCAVOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	64
MAPA 14 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO RETILÍNEOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	65
MAPA 15 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO CONVEXOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	66
MAPA 16 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – FORMAS DE VERTENTES EM PLANO DE CURVATURA DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	67
MAPA 17 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – FORMAS DE VERTENTES EM PLANO DE CURVATURA DE ACORDO SILVEIRA	68
MAPA 18 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO CONVERGENTES – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	70
MAPA 19 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO PLANARES – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	71
MAPA 20 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO DIVERGENTES – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA.....	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EXEMPLO HIPOTÉTICO DE MAPEAMENTOS PARA COMPARAÇÃO – DEMONSTRAÇÃO DA METODOLOGIA	39
TABELA 2 - FORMAS DE VERTENTES IDENTIFICADAS COMO CÔNCAVAS - RECLASSIFICADAS A PARTIR DA BASE DE DADOS DO TOPODATA	75
TABELA 3 - FORMAS DE VERTENTES IDENTIFICADAS COMO RETILÍNEAS - RECLASSIFICADAS A PARTIR DA BASE DE DADOS DO TOPODATA	77
TABELA 4 - FORMAS DE VERTENTES IDENTIFICADAS COMO CONVEXAS - RECLASSIFICADAS A PARTIR DA BASE DE DADOS DO TOPODATA	79

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - FORMAS DE VERTENTES MAPEADAS COMO CÔNCAVAS – RECLASSIFICADAS DE ACORDO COM O TOPODATA – COMPARAÇÃO KOZCIAK – CUNICO – SILVEIRA	73
GRÁFICO 2 - FORMAS DE VERTENTES MAPEADAS COMO RETILÍNEAS – RECLASSIFICADAS DE ACORDO COM O TOPODATA – COMPARAÇÃO KOZCIAK – CUNICO – SILVEIRA	76
GRÁFICO 3 - FORMAS DE VERTENTES MAPEADAS COMO CONVEXAS – RECLASSIFICADAS DE ACORDO COM O TOPODATA – COMPARAÇÃO KOZCIAK – CUNICO – SILVEIRA	78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	17
1.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi	18
1.1.2 Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS	37
3.1 O PROJETO TOPODATA	39
3.2 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO APLICADA POR KOZCIAK (2005) PARA A BACIA DO RIO MARUMBI	42
3.3 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO APLICADA POR CUNICO (2007) PARA A BACIA DO RIO MARUMBI	43
3.4 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO APLICADA POR SILVEIRA (2010) NO ARROIO DO CORVO	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARUMBI	47
4.1.1 Vertentes mapeadas por Cunico (2007)	49
4.1.2 Vertentes mapeadas por Kozciak (2005)	55
4.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO CORVO	61
4.2.1 Segmentos mapeados em perfil de curvatura	61
4.2.1 Segmentos mapeados em plano de curvatura	67
4.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS	73
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A geomorfologia se propõe a analisar a paisagem a partir da interação entre estrutura, processo e forma, sendo que o foco no estudo deste último elemento reforçou esta enquanto ciência autônoma (MARQUES, 2003).

O mapeamento geomorfológico é utilizado em larga escala para fins de planejamento territorial e ambiental e, em especial nas últimas décadas, têm se desenvolvido e apoiado fortemente no uso da cartografia computadorizada, em produtos de sensoriamento remoto e nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's).

Contudo, dada a dificuldade de se obter critérios metodológicos e conceituais únicos ou padronizados para a elaboração dos mesmos observa-se, conforme destaca Argento (2003), lacunas e conflitos no processo de produção dos mapeamentos de bases geomorfológicas.

Uma das dificuldades observadas no processo de mapeamento geomorfológico refere-se à definição e delimitação das vertentes, as quais, segundo Young (1972), fornecem a base para os mapeamentos geomorfológicos e constituem um dos ramos de estudo da geomorfologia tanto no que se refere à forma, como processos subjacentes associados.

Small e Clark (1982) afirmam que as vertentes são o elemento básico da paisagem e que, por esta razão, merecem a atenção dos geógrafos físicos. Segundo os autores, as vertentes afetam diretamente diversas atividades humanas, tais como agricultura, construção de estradas e ferrovias, construção de casas, drenagem do solo e várias outras.

Os autores afirmam ainda que os geomorfólogos tem uma tarefa nada fácil, porém vital, no que concerne ao estudo das vertentes, pois segundo eles, é preciso entender suas formas, seus processos e seus mecanismos de desenvolvimento a fim de minimizar os riscos que a ocupação associada à instabilidade das vertentes representa para a vida humana.

Para o IBGE (2009), a forma das vertentes atua direta e indiretamente no escoamento superficial e na erosão, com importantes implicações para o balanço de materiais e natureza dos processos.

Conforme Penteado (1978), caracterizar geometricamente uma vertente é um processo complexo, pois seus declives são irregulares e raramente podem ser descritas por equações matemáticas únicas. Neste sentido, a autora afirma que os geomorfólogos têm se preocupado mais com a descrição empírica dos declives, carecendo ainda de teorias válidas que embasem tais estudos.

Finlayson e Statham (1980¹) *apud* Dikau *et al.* (2006) afirmam que as vertentes constituem um elemento básico para todas as paisagens e um componente fundamental para os sistemas geomorfológicos. Contudo, segundo Dikau *et al.* (2006), “há uma ausência surpreendente de qualquer definição precisa sobre vertentes”².

De acordo com Small e Clark (1982), “o estudo das vertentes é considerado por diversos pesquisadores como um medicamento – relutam, mas reconhecem que lhes faz bem, no entanto só o tomam em pequenas doses e somente quando absolutamente necessário”³.

Devido à importância do elemento **vertente** na paisagem, no mapeamento geomorfológico, e conseqüentemente, no planejamento ambiental, é necessário que se façam estudos mais aprofundados a fim de se tentar romper esses paradigmas outrora apresentados.

Para tanto, esta pesquisa aborda a geometria das vertentes mapeadas por diferentes metodologias e escalas, objetivando avaliar a correlação entre mapeamentos feitos por diferentes mapeadores e técnicas.

Neste sentido o objetivo geral deste trabalho é o de verificar se há alguma padronização no mapeamento de forma de vertentes, via comparação e análise

¹ FINLAYSON, B; STATHAM, I. Hillslope Analysis, London: Butterworth, 1980

² “However, there is an ‘amazing absence of any precise definition’ of hillslopes.” (DIKAU *et al.*; 2006; p. 516).

³ “The study of slopes has long tended to be regarded by many students as a dose of medicine – grudgingly acknowledged to be ‘doing them good’, but to be taken only in small portions and only when absolutely necessary.” (SMALL e CLARK, 1982; p. 4)

estatística das formas observadas em mapeamentos já realizados, frente aos padrões morfométricos disponibilizados pela base de dados do projeto TOPODATA.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar as formas de vertentes das Bacias Hidrográficas do Rio Marumbi-PR e do Arroio do Corvo-PR.
- Caracterizar estatisticamente as formas de vertentes mapeadas na Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi, quanto à curvatura vertical, a partir das unidades já identificadas por metodologias de FOTOGRAFIA interpretação, análise por perfis e extração por processos automatizados, em ambiente SIG, a partir de Modelos Digitais de Elevação (DEM).
- Caracterizar estatisticamente as formas de vertentes mapeadas na Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo, quanto à curvatura vertical e horizontal, a partir das unidades já identificadas por metodologias de extração por processos automatizados, em ambiente SIG, a partir de Modelos Digitais de Elevação (DEM).

1.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Para esta pesquisa foram escolhidas duas áreas de estudo, as quais são a Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi/PR, onde foram analisados os mapeamentos feitos por Kozciak (2005) e Cunico (2007), ambos na escala 1:25.000; e a Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo/PR, onde foi analisado o mapeamento elaborado por Silveira (2010), na escala 1:10.000.

1.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi

A Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi está localizada na porção oeste do município de Morretes/PR (FIGURA 1). Suas nascentes localizam-se na Serra do Mar e sua foz no Rio Nhundiaquara, pertencente à Bacia Litorânea do Estado do Paraná.

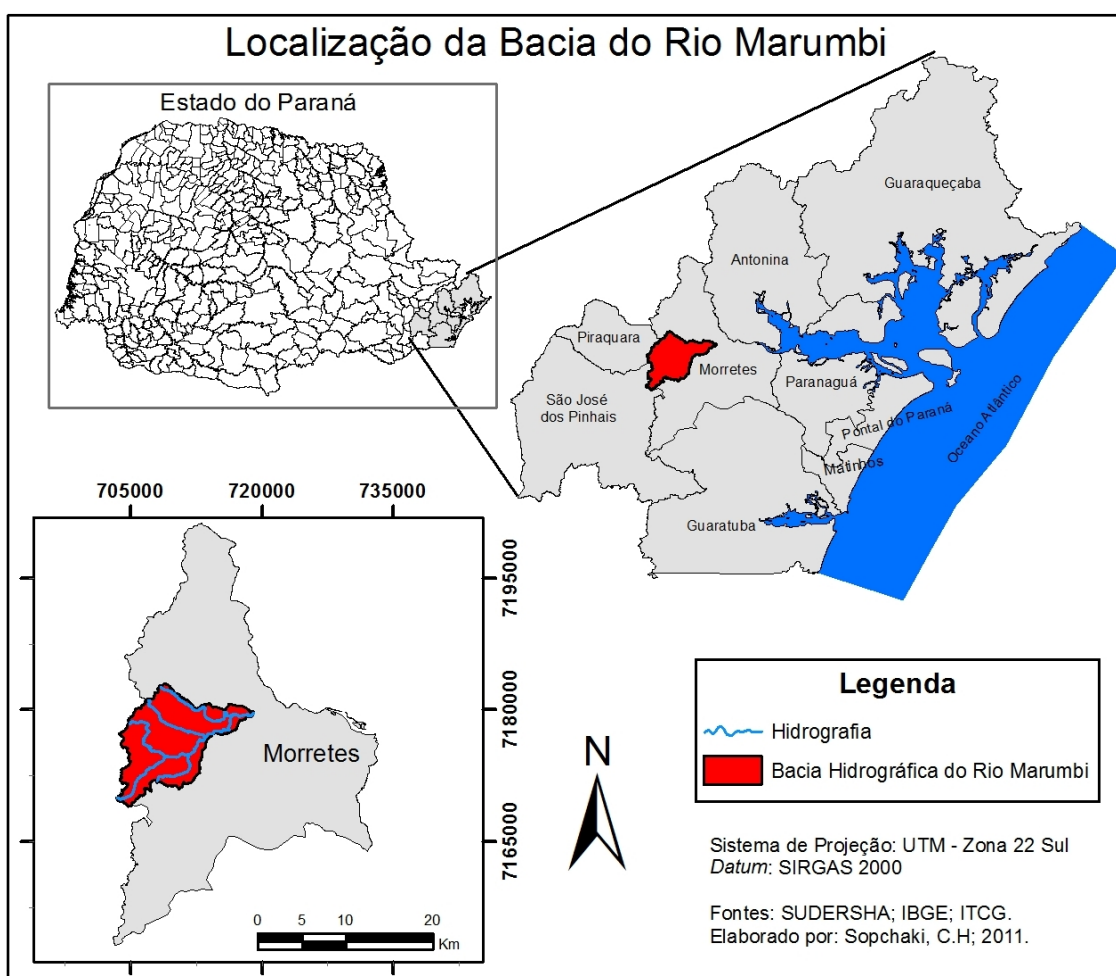


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO MARUMBI
FONTE: O autor (2011)

A Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi possui uma área de 102,8 km² e está inserida em três unidades de conservação: a Área Especial de Interesse Turístico do Marumbi, o Parque Estadual do Marumbi e o Parque Estadual do Pau-Oco. Está distante cerca de 70km de Curitiba, a capital do estado do Paraná. Em sua área de

abrangência identificam-se duas unidades morfológicas distintas, a Serra do Mar e a Planície Litorânea.

No que concerne à geologia, de acordo com SEMA (2002), na Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi identificam-se a Formação Guaratubinha (Rochas Vulcânicas), Formação Guaratubinha (Rochas Sedimentares), Suíte Alkali Granitos, Complexo Gnáissico-Migmatítico, Complexo Granítico-Gnáissico, Sedimentos Recentes (Depósito de Colúvios e Talús) e Sedimentos Recentes (Aluviões Indiferenciados).

De acordo com Kozciak (2005), na área da Planície Litorânea, o relevo é muito suave, com pequenas ondulações e altitudes, que somam alguns metros acima do nível do mar. São comuns os morros isolados e espigões, que se destacam na topografia formando pequenos maciços na planície sedimentar. Estes corpos são constituídos de rochas pré-cambrianas ou de diques de diabásio.

Os depósitos de colúvio aparecem no sopé das vertentes da Serra do mar, e os depósitos aluvionares ao longo dos vales dos principais fluxos d'água e sobre a planície aluvial do Rio Nhundiaquara, situada a noroeste da área da bacia.

Na Planície Litorânea os solos ocorrem sob relevo plano e com alto grau de umidade, sendo observado na bacia do Rio Marumbi, os solos hidromórficos gleizados, desenvolvido a partir da meteorização de sedimentos aluviais ou colúvio aluviais do Quaternário, ocorrendo nas partes baixas do relevo plano.

As intrusões de diques de diabásio, associadas ao vulcanismo mesozoico, estão presentes em toda a área da bacia, cortando tanto os granitos como os migmatitos, com orientação geral N-W. (SEMA, 2002).

Com relação à pedologia, Cunico (2007) identificou na Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi Cambissolos, Solos Hidromórficos Gleizados, Neossolos Litólicos e Afloramento Rochosos.

A temperatura média anual na região, conforme SUDERHSA (1998), varia entre 20,8°C e 22°C e as precipitações possuem médias anuais de 2.000mm na região de planície, 2.500mm na serra litorânea e 3.000mm no Pico no Marumbi.

Maack (2002) afirma que na região da Serra do Mar são registrados os mais altos valores pluviométricos do estado pois, segundo o autor, a serra constitui uma

barreira natural para os ventos que sopram do oceano, que se concentram em forma de estratos, ocorrendo com frequência fenômenos de chuvas orográficas.

Para Ab'Saber (2003), na Serra do Mar os processos de intemperismo são frequentes, motivo pelo qual as rochas da região encontram-se frequentemente em decomposição. Conforme o autor, a região tem uma vasta gama de rede de drenagens, que somada às altas taxas de precipitação e aos ventos alísios, ocasionam as chuvas de relevo.

Ab'Saber (2003) afirma ainda que se trata de uma região de muitos morros de formas residuais e curtos em sua convexidade, com movimentos de massa generalizados.

1.1.2 Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo situa-se na porção nordeste do município de Pinhais/PR (FIGURA 2). O Arroio do Corvo é afluente do Rio Canguiri, e está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Iraí.

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo possui uma área de 4,47 km² e, com relação à sua geologia, está situada sobre a Bacia Sedimentar de Curitiba, sendo a maior parte sobre a Formação Guabirotuba e em áreas restritas de planícies sobre Sedimentos Holocênicos.

A Formação Guabirotuba, segundo Mineropar (2001), foi depositada após sucessivas fases erosivas que desenvolveram a superfície do Alto Iguaçu, seguida por uma fase erosiva de clima úmido que dissecou esta superfície. Posteriormente iniciou-se a deposição em ambiente semiárido, com chuvas torrenciais formando depósitos, constituídos por argilitos, arcósios, depósitos rudáceos e margas, com espessura variando de 10 a 80 m (sendo maior na região central).

No que concerne à geomorfologia, de acordo com Santos *et al.* (2006), a Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo está inserida no Primeiro Planalto Paranaense, predominantemente na subunidade morfoescultural Planalto de Curitiba.

Segundo Silveira (2010), esse compartimento geomorfológico possui dissecação moderada composta por topos alongados e aplainados, vertentes convexas e formas de relevo predominantemente onduladas a suave onduladas. Secundariamente, na porção final do terço inferior da bacia, em áreas planas, ocorre a subunidade morfoescultural denominada de Planícies Fluviais sobre Sedimentos Inconsolidados do período Quaternário, cujos limites estão sobre planícies dos principais rios.

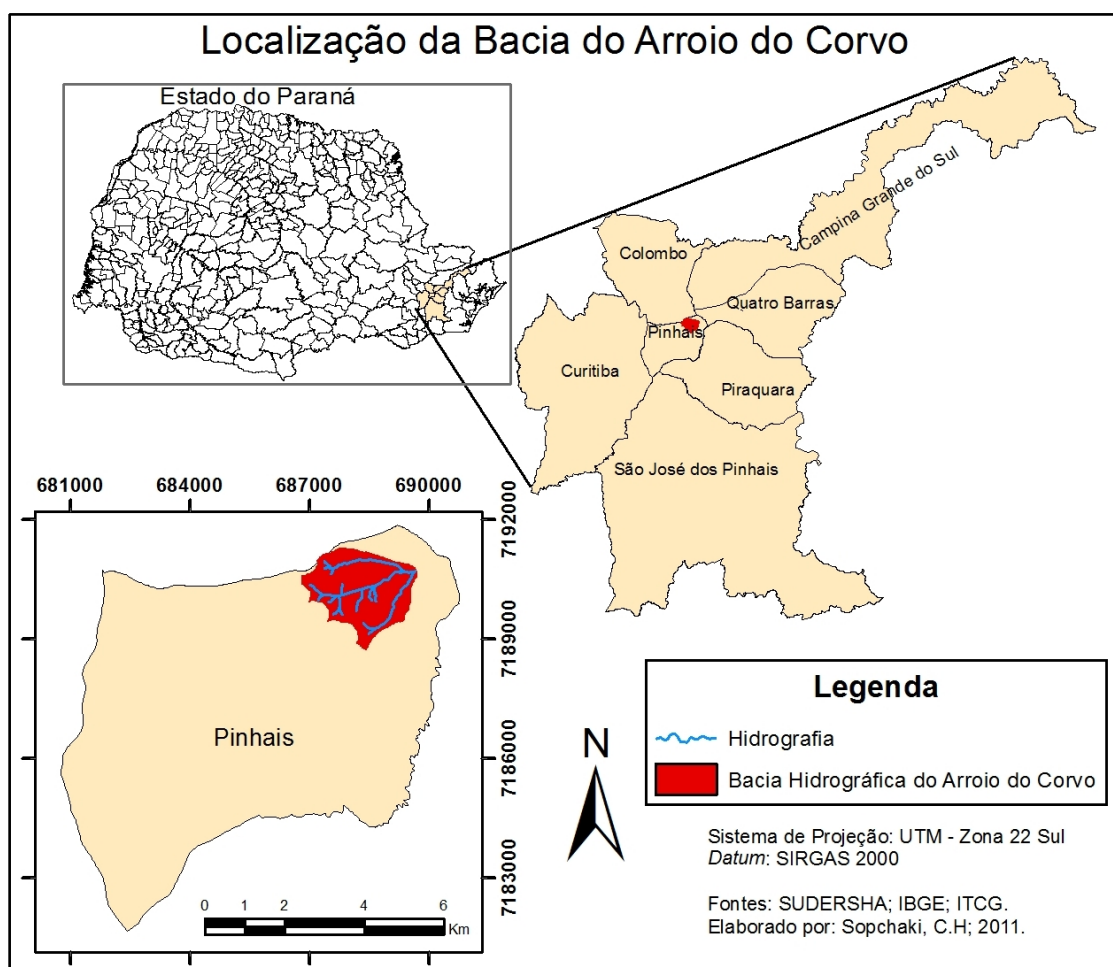


FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO ARROIO DO CORVO
FONTE: O autor (2011)

Silveira (2010) afirma ainda que a Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo apresenta vertentes predominantemente suaves onduladas, bem como, pequenas variações locais para um relevo ondulado na porção noroeste e sudoeste, onde o trabalho de dissecação, produzido por cursos fluviais menores, resultou na

conformação de pequenas ombreiras, com topos e interflúvios aplanados suavemente ondulados, relictos de antigas superfícies, intercalados por vales em “U” amplo, envolto por uma planície fluvial.

Na porção final do terço inferior da bacia, em áreas planas, ocorre a subunidade morfoescultural denominada de Planícies Fluviais sobre Sedimentos Inconsolidados do período Quaternário, cujos limites estão sobre planícies dos principais rios.

De acordo com a COMEC (1976⁴) *apud* Silveira (2010), a Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo possui altitude mínima de 884 e máxima de 954 metros acima do nível do mar, com amplitude de 70 m.

Com relação à pedologia da Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo, de acordo com Sirtoli (2008), identificam-se naquela área Organossolos, Gleissolos, Latossolos e Cambissolos.

No que se refere ao clima, Maack (2002) *apud* Silveira (2010) afirma que a região possui uma precipitação regular ao longo do ano, formação de geadas durante o inverno, raramente neva e pouco se percebe uma estação tipicamente seca. Segundo a classificação de Köppen prevalece na região o clima do tipo Cfb, que se caracteriza como quase sempre úmido, com características pluviais de clima quente-temperado.

⁴ COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. Cartas Topográficas, folhas: SG-22-X-D-I-4-SO-B e SG-22-X-D-I-4-SE-A, escala 1:10.000, 1976.

2 REVISÃO DE LITERATURA

No âmbito geral, pode-se afirmar que os conceitos de vertente e suas metodologias de delimitação são baseados predominantemente na análise da forma, contudo, são observados também, conceitos que incluem a noção de processos.

Savigear (1956, 1967), Young (1964, 1971), Dylik (1968), Ruhe (1975), Christofolletti (1980), Summerfield (1991), Thomas e Goudie (2000), Veloso (2002), Bigarella *et al.* (2007) e outros, definiram vertente basicamente como sendo um elemento tridimensional, o qual apresenta-se inclinado em relação à horizontal.

Estes autores apresentaram ou empregaram basicamente duas metodologias para identificação e delimitação das mesmas, sendo a primeira baseada na análise de perfis bidimensionais e a segunda baseada na análise conjunta das suas características geométricas.

Christofolletti (1980) e Bigarella *et al.* (2007) conceituam a vertente centrados na análise da forma, apresentando a mesma como sendo uma superfície inclinada, não horizontal, sem qualquer implicação genética ou de posicionamento, definindo a superfície propriamente dita, bem como sua declividade.

Osterkamp (2008) afirma que vertentes são quaisquer superfícies inclinadas da Terra e como medidas geomórficas, podem ser expressas geralmente em graus a partir da horizontal.

Bloom (1970⁵) *apud* IBGE (2009), no que se refere às formas das vertentes, identifica aquelas “cujas curvas de nível deslocam-se de forma convexa para fora das mesmas” como distribuidoras de água, nas quais a água se espalha lateralmente vertente abaixo, tendendo esses setores a serem mais secos que as concavidades. O autor afirma ainda que as vertentes de contornos côncavos são consideradas coletoras de água, a jusante das quais se localizam as nascentes de rios.

Veloso (2002) apresentou proposta de classificação das vertentes a partir da análise de sua forma geométrica, sendo as mesmas elementos da superfície

⁵ BLOOM, A. L. Superfície da Terra. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

terrestre inclinados em relação à horizontal que podem ser descritos a partir da variabilidade do seu grau de curvatura, caracterizado por perfis ou segmentos de perfis.

A proposta de Veloso (2002) considera como metodologia para análise e classificação das vertentes o emprego de perfis bidimensionais, ou seja, linhas traçadas sobre o terreno que descrevem a inclinação da vertente em um determinado trecho e sobre uma dada orientação.

Desta forma, a análise da inclinação (expressa por ângulo ou gradiente) permite a classificação das vertentes a partir de perfis bidimensionais em: retilíneas, quando segmentos ou partes das vertentes apresentam ângulo constante e, em curvas, quando apresentam ângulo variável. Estas últimas podem ainda ser classificadas como côncavas ou convexas de acordo com a direção da curvatura e não podem ser descritas por um simples ângulo.

Segundo Christofolletti (1980) e Summerfield (1991), esta metodologia é a mais utilizada para a análise das formas das vertentes, tendo sido proposta inicialmente por Savigear (1956, 1967) e por Young (1964, 1971).

Young (1971) propôs que os perfis fossem subdivididos em unidades retilíneas, côncavas e convexas, metodologia que tem o mérito de simplificar o processo de classificação e que tem produzido resultados significantes na delimitação das vertentes. No entanto, o autor salientou que este processo implica em diferentes níveis de subjetividades que podem levar autores distintos a encontrarem resultados divergentes, mesmo a partir da análise de uma base única de dados.

As divergências às quais Young (1971) se referia e a dificuldade de aplicação desta metodologia foram demonstradas por Sopchaki e Sampaio (2011) e por Sopchaki (2011). Os autores traçaram perfis aleatórios em uma vertente e cada perfil possuía a tendência de uma forma específica (convexo, retilíneo, côncavo).

Tais divergências decorrem da dificuldade de se estabelecer classificações para vertentes (superfícies tridimensionais) a partir de metodologias que representam as mesmas via perfis longitudinais (elementos bidimensionais) obtendo-se assim um conflito entre metodologia e conceito.

Neste sentido, a tradução da forma tridimensional por representações bidimensionais normalmente implica em processos subjetivos de generalizações e extrapolações, no sentido de enquadrar conceitualmente partes representáveis da vertente.

Como em geral o número de perfis usados para descrever a vertente é insuficiente, são aplicados pelo agente mapeador/classificador generalizações que reduzem a superfície complexa das vertentes a um modelo único e, por vezes, não representativo da mesma, bem como são estabelecidas extrapolações sobre o perfil no sentido de entender que o mesmo é suficiente para definir as formas em análise.

Observa-se que inúmeros perfis traçados sobre as vertentes no sentido de caracterizar suas formas, se desenhados em diferentes direções e com diferentes extensões resultarão em diferentes formas, dificultando o processo de análise das mesmas, conforme demonstrado por Sampaio e Augustin (2008).

Small e Clark (1982) também demonstram preocupação com relação à metodologia de estudo de vertentes a partir de perfis bidimensionais, pois os autores afirmam que é raro conseguir se traçar um perfil sobre uma vertente a fim de estudá-lo ou mesmo representá-lo.

Essa limitação metodológica ganha ênfase ainda maior quando se observa a dificuldade de, sobre bases cartográficas planialtimétricas, definir alinhamentos ideais para representar as vertentes a partir das multivariadas geometrias das curvas de nível.

Neste sentido, a metodologia do emprego de perfis demonstra-se mais adequada à análise de segmentos pré-definidos da vertente sob determinados alinhamentos/direções, descrevendo localmente e direcionalmente a geometria das mesmas.

Contudo, vertentes são superfícies tridimensionais formadas por diferentes geometrias, as quais variam de acordo com a direção observada e extensão projetada, sendo sua descrição via perfil, antes de tudo, uma simplificação de sua forma, sob uma, dentre muitas possibilidades de análise e classificação.

Dylik (1968) *apud* Bigarella *et al.* (2007) amplia o conceito de vertente associando a noção de processos. Desta forma, apresenta a vertente como um elemento tridimensional modelado pelos processos de denudação atuantes tanto no

passado como no presente, representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo do vale.

A proposta de Dylik (1968) de conceituação da vertente como uma forma tridimensional baseia-se, conforme Christofolletti (1980), na possibilidade de delimitação de três limites bem definidos, sendo estes:

- inferior: local onde os processos genéticos que determinam a natureza da vertente deixam de atuar, o qual excepcionalmente pode ser definido por um rio;
- superior: indica a extensão mais distante e mais alta da superfície de onde provém um transporte contínuo de materiais sólidos para a base da vertente, e;
- interno: limite que confere à vertente a terceira dimensão, sendo constituído pelo embasamento rochoso.

No que se refere ao limite inferior da vertente, Bigarella *et al.* (2007) complementam a proposta de Dylik (1968), afirmando que esta deve considerar as descontinuidades naturais que condicionam alterações bruscas nos processos atuantes no modelado da mesma.

Dylik (1968) avançou ao associar a noção de processos, no entanto, embora o autor associasse a vertente a uma forma tridimensional, sua tentativa de enquadrar a vertente como tal foi frustrada, pois o limite interno acabou não conferindo a terceira dimensão à vertente.

Conforme já exposto anteriormente, como as vertentes são comumente analisadas em perfil, o limite interno define simplesmente o contato do perfil com o embasamento rochoso, portanto a vertente continua sendo tratada como uma forma bidimensional (FIGURA 3).

Sendo as três dimensões formadas a partir de três grandezas geométricas: largura, comprimento e profundidade, o que confere o caráter tridimensional à vertente são os limites laterais somados aos limites superior, inferior e interno.

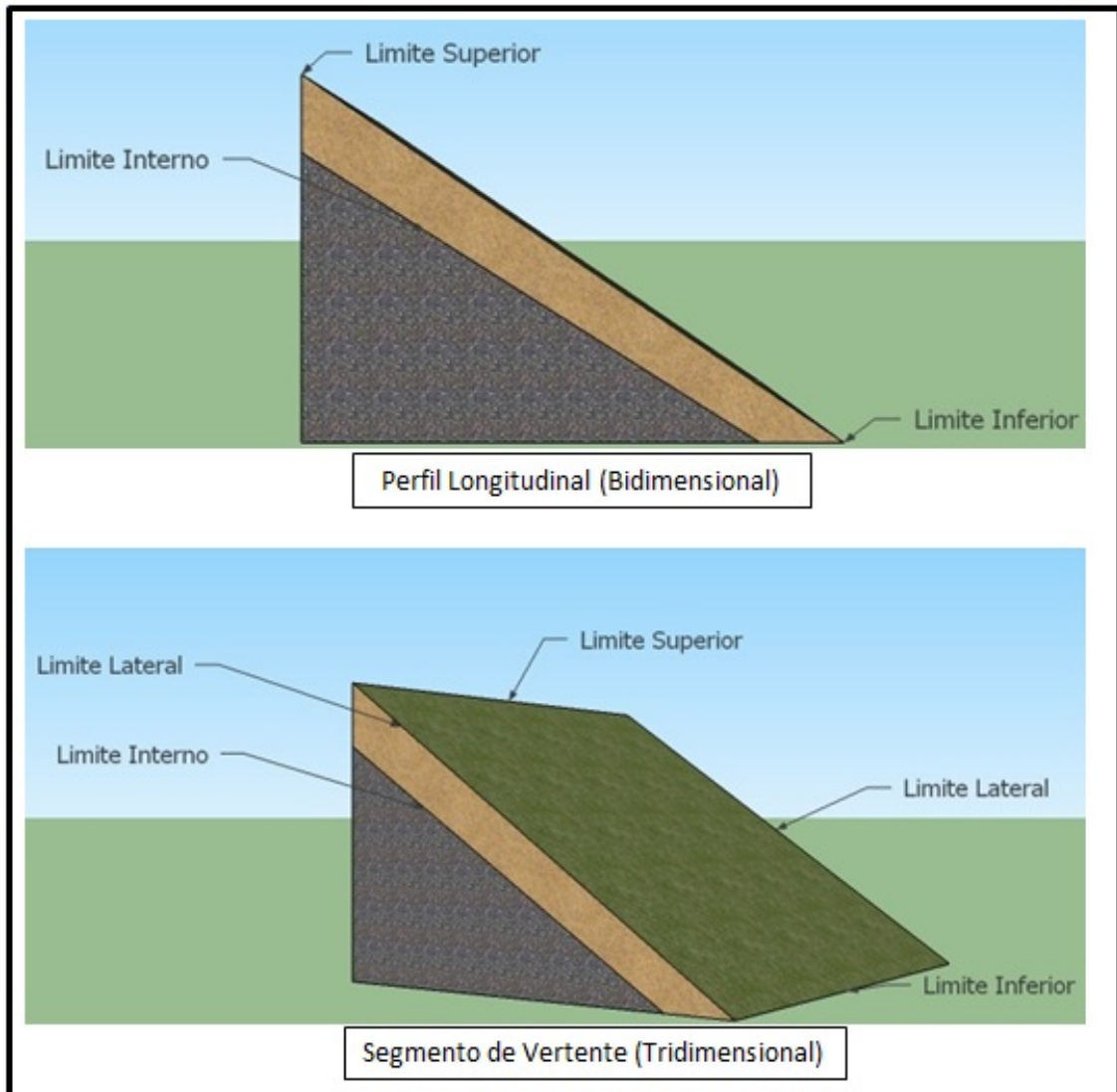


FIGURA 3 - VERTENTE EM PERFIL E SEGMENTO DE VERTENTE EM TRÊS DIMENSÕES
 FONTE: O autor (2011)

Dalrymple *et al.* (1968) consideraram as vertentes como sistemas complexos tridimensionais, que se estendem do interflúvio ao meio do leito fluvial e da superfície do solo ao limite superior do regolito. Os autores dividiram a vertente em nove unidades hipotéticas (FIGURA 4), cada uma sendo definida em função da forma e dos processos morfogenéticos dominantes e normalmente atuantes sobre ela.

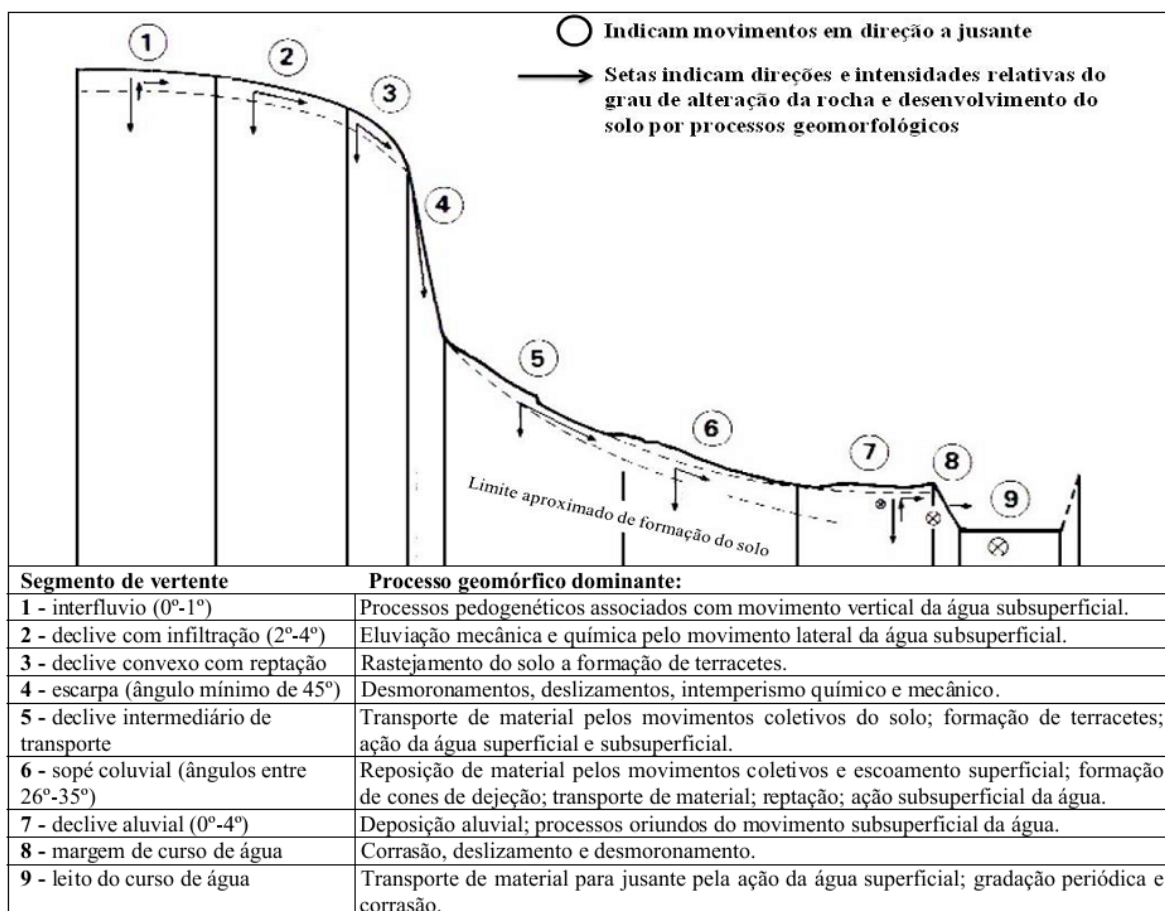


FIGURA 4 - NOVE UNIDADES HIPOTÉTICAS NO MODELO DE VERTENTE
 FONTE: Silveira (2010), adaptado de Darlymple *et al.* (1968)

A proposta de Darlymple *et al.* (1968), no que concerne ao caráter tridimensional das vertentes proposto pelos autores, esbarra no mesmo problema da proposta de Dylik (1968), posto que ao analisar a vertente em perfil, acaba enquadrando-a como forma bidimensional.

Troeh (1965) fez um dos primeiros estudos que considerou a curvatura vertical e a curvatura horizontal, ou seja, tratou a vertente enquanto forma tridimensional, além de associar vertentes à processos de coleta e distribuição de água, rastejamento e lavagem. O autor classificou as vertentes em quatro tipos principais (FIGURA 5): vertentes com radiais convexas e contornos côncavos (quadrante I), vertentes com radiais côncavas e contornos côncavos (quadrante II), vertentes com radiais convexas e contornos convexos (quadrante III) e vertentes com radiais côncavas e contornos convexos (quadrante IV).

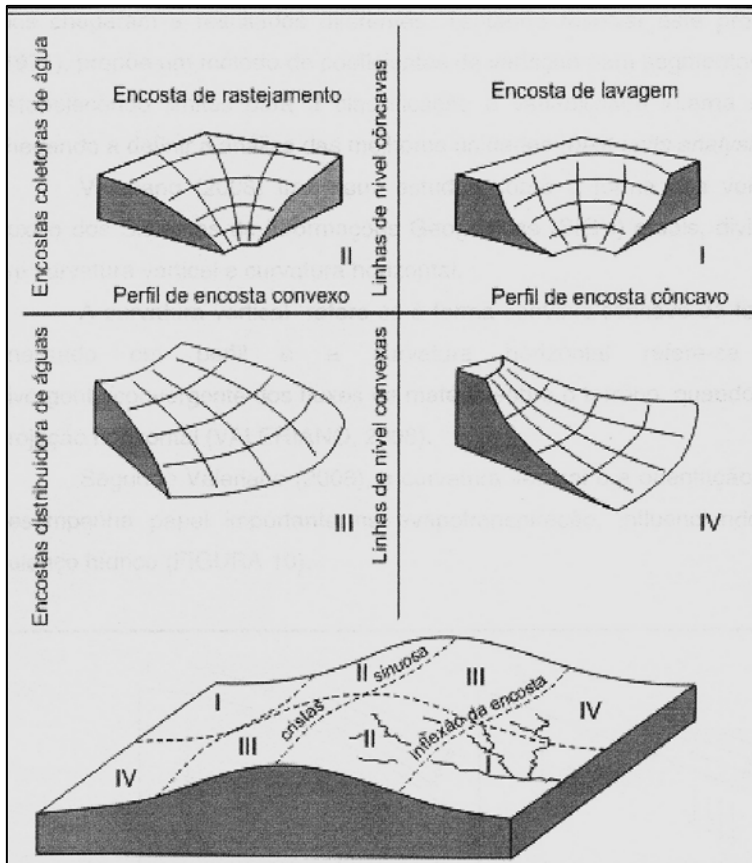


FIGURA 5 - QUATRO TIPOS BÁSICOS DE VERTENTES E OS PROCESSOS ATUANTES
 FONTE: Troeh (1965)

Ruhe (1975) ao constatar que as vertentes não podem ser representadas adequadamente por perfis bidimensionais, classificou e conceituou as vertentes como elementos tridimensionais, propondo uma classificação baseada na análise da geometria das formas das vertentes (FIGURA 6). Nesta, a vertente é o elemento que apresenta segmentos associados de geometrias, formando verdadeiros mosaicos.

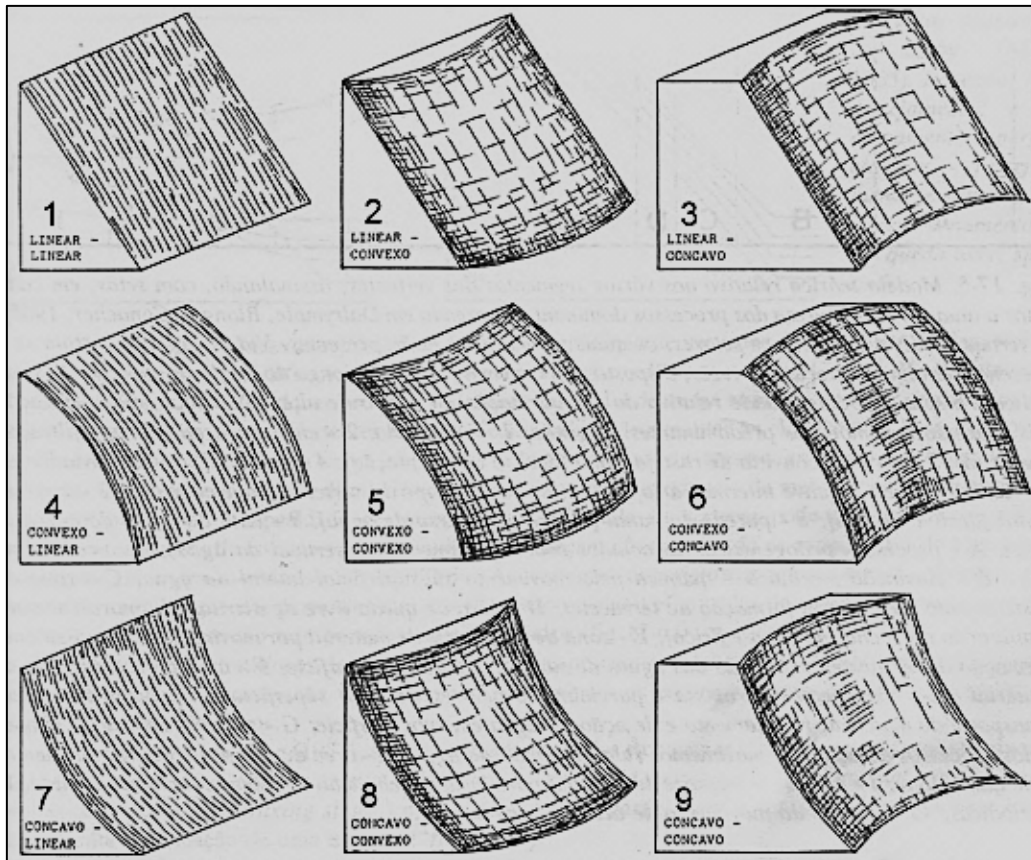


FIGURA 6 - GEOMETRIA DAS FORMAS DAS VERTENTES

FONTE: Bigarella, Becker e Santos (2007), adaptado pelo autor (2011)

Sopchaki e Sampaio (2011) e Sopchaki (2011) ao testarem a aplicação da metodologia proposta por Ruhe (1975), afirmam que o resultado à que se chega é um mosaico de formas e que a aplicação da mesma é extremamente complexa. Os autores trabalharam a partir de interpretação visual em vertentes de Ilhabella-SP e na Bacia do Rio Curralinho, na Região Metropolitana de Curitiba-PR.

Florenzano (2008) propôs que além das três categorias utilizadas no mapeamento utilizado pelo IPT (1981), seja adicionada mais uma para a classificação da forma das vertentes: **a forma composta**. Esta proposta esbarra na ausência de definição dos limites laterais das vertentes observado tanto para a metodologia baseada em perfis, como naquela proposta por Ruhe.

Cabe observar, que conceitualmente a proposição de vertentes compostas, resulta no enquadramento nesta classe de todas as vertentes a serem mapeadas, visto que inexistem vertentes que apresentem exclusivamente formas retilíneas,

convexas ou côncavas, sendo tais formas representativas de **segmentos da vertente** sob diferentes escalas de análise.

Valeriano (2003) propôs, como parte do projeto TOPODATA, metodologia para mapear a curvatura vertical de vertentes, a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE) com recursos básicos de SIG's, sendo o resultado o mapeamento segmentos da vertente, vistos a partir de um grid *pixel a pixel*.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1981), ao fazer o mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo, classificou o perfil das vertentes em convexo, retilíneo e côncavo, adotando as propostas de Savigear (1956, 1967) e Young (1964, 1971), generalizando os valores observados para as vertentes classificadas.

Cunico (2007), que classificou as formas das vertentes segundo o **perfil** assumido pelas curvas de nível (FIGURA 7), conforme proposta de Müller Filho e Sartori (1999)⁶, afirma que as vertentes são retilíneas quando as curvas de nível apresentam igual afastamento entre elas; côncavas quando o afastamento gráfico entre as curvas aumenta à medida que as altitudes decrescem e convexas quando o afastamento torna-se menor à medida que as altitudes decrescem.

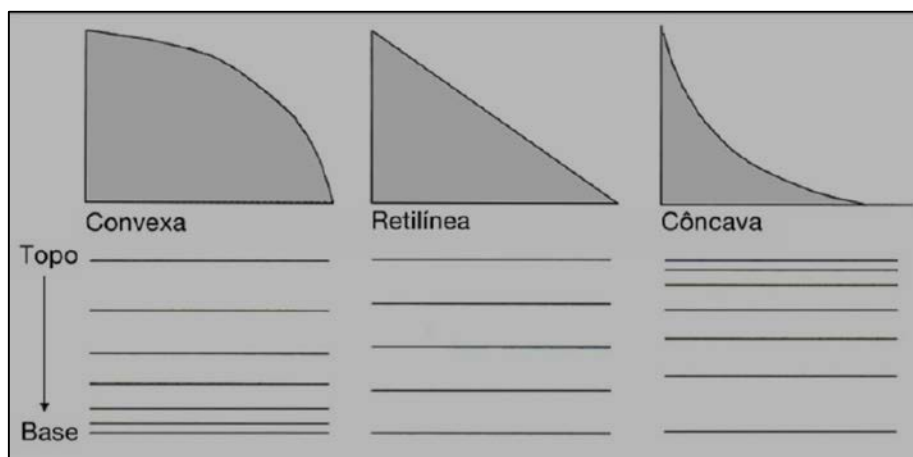


FIGURA 7 - CURVATURA VERTICAL CONFORME PERFIL ASSUMIDO PELAS CURVAS DE NÍVEL
FONTE: VALERIANO (2008a)

⁶ MÜLLER FILHO, I. L.; SARTORI, M. G. B. **Elementos para a interpretação geomorfológica de cartas topográficas: contribuição a análise ambiental**. Santa Maria: UFSM, 1999.

Santos (2000), ao mapear as formas das vertentes a partir de seus perfis, classificou as mesmas como formas de vertente retilíneas, convexas e côncavas. O autor acrescentou à categoria de formas de vertentes, a noção de **vertente ligeiramente convexa**.

Soares (2008) relatou que a confecção da carta morfológica apresentou algumas dificuldades de representação. A autora descreveu as formas de vertentes como “heterogêneas e complexas”. Afirmou ainda que observou formas menores inseridas em um conjunto maior, ou seja, em uma vertente a qual denominou “principal” encontrou vertentes menores que segunda ela formam subunidades da vertente e apresentam formas e orientações variadas.

A autora exemplificou com vertentes curtas e côncavas entre vertentes retilíneas e extensas. Segundo a autora foi necessária a adaptação da técnica utilizada, pois as metodologias apresentaram-se inadequadas, tendo optado por “utilizar fotointerpretação manual sobreposta à base topográfica digitalizada, utilizando estritamente a área útil das fotografias aéreas”.

Vervloet (2009), no único parágrafo que trata da metodologia empregada para a identificação das formas das vertentes, afirmou que esta “foi fundamentada num critério puramente morfológico”.

Mardones e Vidal (2001), embora tenham explicitado a importância da forma da vertente em seu trabalho de zoneamento e avaliação de riscos geomorfológicos na cidade de Concepción, no Chile, trabalharam apenas com o grau de inclinação das mesmas. As autoras, ao tratar dos movimentos de massa, afirmam que “em relação aos fatores morfométricos, inclinação e forma da encosta são importantes fatores a serem levados em conta⁷”.

Da mesma forma García e Blanco (2005), embora tenham afirmado que classificariam as variáveis quantitativa e qualitativamente, apresentam como resultado a identificação das vertentes expressas apenas pelos seus graus de inclinação em relação à horizontal.

Perego *et al.* (2011), ao elaborarem um mapeamento geomorfológico em uma região no sudoeste da Líbia, no capítulo intitulado “Formas de Vertentes e

⁷ “ En cuanto a los factores morfométricos, la pendiente y forma de la ladera son factores genéticos relevantes.” (MARDONES e VIDAL; 2001).

Depósitos”, tratam apenas de Unidades Morfoesculturais e de alguns processos atuantes, citando “escarpa com presença de arenito mais resistente”, “paredão vertical”, “enfraquecimento e queda do penhasco” e “deslizamentos”.

O mapeamento geomorfológico da região de Trivento, na Itália, elaborado por Aucelli *et al.* (2010), ao tratar das vertentes, cita apenas processos atuantes, tais como movimentos de massa e deslizamentos. O “Mapa de Vertentes” traz a informação do ângulo de inclinação das mesmas em relação à horizontal.

Mentlík e Novotná (2010) trabalharam com uma metodologia de mapeamento geomorfológico em escala de detalhe para uma região da Floresta Bohemian, na República Tcheca. O título do trabalho começava com “Formas Elementares”, no entanto os autores trabalharam basicamente com processos atuantes e quando abordaram as vertentes em seu mapeamento citaram apenas “vertentes guiadas por falha”, “vertentes em encostas de erosão” e “vertentes remodeladas por gelifluxão”.

Isso demonstra mais uma vez a dificuldade de identificar formas de vertentes. Embora Finlayson e Statham (1980), Small e Clark (1982), Young (1982), Christofolletti (1980) e outros tenham definido vertentes como o elemento básico da paisagem, Mentlík e Novotná (2010), mesmo se propondo a trabalhar com **formas elementares** em escala de detalhe, acabaram não identificando as formas das vertentes.

Em uma área do Parque Nacional de Eifel, na Alemanha, Lehmkuhl *et al.* (2010) aplicaram uma metodologia que resultou em dois mapas na escala 1:5.000. Um deles cartografava a hidrografia e o uso da terra e o outro tinha o título de “mapa de formas antropogênicas e geomorfológicas”. No entanto este último, no que se referia à geomorfologia, trazia a informação apenas dos tipos de vale (vales em V, vales assimétricos...) e o ângulo das vertentes em relação à horizontal.

Os autores não conseguiram identificar a forma das vertentes mesmo trabalhando em escala de detalhe (1:5.000) e com poucas variáveis (formas antropogênicas e geomorfológicas).

Processo semelhante ocorreu com Latocha (2009), ao trabalhar em uma área de montanhas no sudoeste da Polônia, embora tenha se proposto a “elaborar um

mapeamento geomorfológico detalhado, juntamente com análises morfométricas⁸, a fim de avaliar a extensão do impacto humano na paisagem, não mapeou nem as formas das vertentes, nem o ângulo de suas inclinações.

Greco (2009) efetuando o mapeamento geomorfológico em uma região de Prahova, na Romênia, identificou somente processos atuantes (voçorocas, erosão em sulcos, movimentos de massa, colapsos). A autora havia salientado que “sua análise enfatizaria fatores morfodinâmicos e parâmetros morfométricos⁹”.

Em mapeamento geomorfológico realizado na região da Cantabria, na Espanha, Ruiz-Fernandez (2011), ao tratar das vertentes, deu ênfase aos processos (vertentes de talus, deslizamento, solifluxão), embora tenha chamado de formas predominantes de vertentes.

O trabalho de classificação da curvatura de vertentes em perfil via *thin plate spline* e inferência *fuzzy*, elaborado por Anjos (2008), também demonstrou a dificuldade de classificação das vertentes ao apresentar cinco classes de mapeamento do perfil da vertente, sendo três denominadas de classes de certeza (convexo, retilíneo e côncavo) e duas de **incerteza** (convexa/retilínea e retilínea/côncava).

O IBGE (2009), em seu Manual Técnico de Geomorfologia, ao tratar das características das vertentes, no que se refere à forma, exemplifica com fotografias. No entanto, nos próprios exemplos percebe-se a dificuldade de identificar a forma de vertente, pois as formas não são facilmente visíveis e como são chamadas de perfis, dependendo de onde o perfil for traçado, a vertente poderá assumir outra forma (FIGURAS 8 e 9).

⁸ “Detailed geomorphological mapping of anthropogenic landforms on a topographic base of 1:10,000, along with morphometric analyses, allows assessment of the extent of direct human impact on the landscape and also evaluation of its persistence in the environment after population decline” (LATOCHA, 2009, p. 103).

⁹ “This analysis emphasises controlling morphodynamic factors such as geology, neotectonics, morphometric parameters, vegetation type and coverage, climatic and hydrological conditions, and human activities” (GRECU, 2009, p. 109).



FIGURA 8 - FOTO DENOMINADA COMO 'PERFIL CONVEXO' PELO IBGE – SANTA ROSA DA SERRA/MG
FONTE: IBGE (2009)



FIGURA 9 - FOTO DENOMINADA COMO 'PERFIL RETILÍNEO' PELO IBGE – TERESÓPOLIS/RJ
FONTE: IBGE (2009)

Borchardt (2005) e Tabalipa (2008), ao trabalharem com estabilidade de vertentes, também não mapearam as formas das vertentes, embora ambos os

autores reconheçam a importância da forma das vertentes como um dos principais condicionantes para definição de escorregamentos e processos correlatos.

Com base no que foi exposto anteriormente, nota-se que há divergências com relação ao conceito de vertente. Vários autores a definem como sendo um elemento tridimensional inclinado em relação à horizontal, no entanto há também definições mais subjetivas como “quaisquer superfícies inclinadas da Terra”, ou “uma superfície inclinada, não horizontal, sem qualquer implicação genética ou de posicionamento”, entre outros.

As metodologias para mapeamento de vertentes também se mostram ineficientes para a adequada definição de sua forma e limites e antagônicas aos conceitos. A mais utilizada mapeia as vertentes a partir de perfis, ou seja, enquanto elementos bidimensionais.

Com relação às metodologias que tentam identificar vertentes enquanto elemento tridimensionais, ou não conseguem fazê-lo por esbarrarem no conceito geométrico da terceira dimensão ao definirem que o limite interno confere à vertente a terceira dimensão ou, trazem como resultado um mosaico de difícil aplicabilidade.

Os exemplos de mapeamentos e/ou tentativas de mapeamentos no Brasil e em vários outros países demonstram a dificuldade de se identificar as formas das vertentes.

3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Esta pesquisa adota o método comparativo em associação com o método estatístico para o auxílio na análise dos resultados.

Para Mombeig (1945) a utilização do método comparativo permite assinalar que existem casos análogos, mas nunca casos perfeitamente idênticos.

Segundo Lijphart (1971), o método comparativo é um método científico básico utilizado para descobrir relação entre variáveis. O autor complementa afirmando que o método comparativo pode se beneficiar de outros métodos científicos, citando métodos experimentais e métodos estatísticos.

Os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa podem ser divididos em três etapas principais: 1) revisão de literatura; 2) levantamento de dados; e 3) sistematização dos resultados.

O levantamento dos dados iniciou com buscas em pesquisas que tivessem identificado as formas de vertentes. Foram selecionados dois trabalhos referentes à Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi: Kozciak (2005) e Cunico (2007); e um trabalho aplicado na Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo: Silveira (2010).

De posse dos dados, a etapa seguinte foi a extração/vetorização dos polígonos mapeados pelos autores, bem como do limite das bacias e da rede hidrográfica.

Em seguida, a partir do banco de dados disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no projeto TOPODATA, foi feita a extração dos dados de curvatura vertical para a Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi e das curvaturas vertical e horizontal para a Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo.

O fato de serem trabalhados apenas com os dados da curvatura vertical na Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi se deve ao fato de as pesquisas de Kozciak (2005) e Cunico (2007) terem abordado apenas a curvatura em perfil.

Os polígonos que haviam sido vetorizados na etapa anterior foram separados de acordo com suas classes, sendo convexos, retilíneos e côncavos para a curvatura vertical; e divergentes, planares e convergentes para a curvatura horizontal.

Após as classes terem sido separadas, as mesmas foram reclassificadas de acordo com o projeto TOPODATA, disponibilizado pelo INPE. Foram gerados gráficos a fim de se verificar qual a porcentagem da classificação obtida pelos autores correspondia à do INPE.

O intuito da reclassificação e da análise estatística não foi o de identificar uma metodologia que possa ser considerada melhor ou mais adequada que as demais. Nesta pesquisa não se parte do pressuposto de que a classificação do TOPODATA é mais adequada para fins de mapeamento de vertentes, mas considera que a proposta apresentada pelo INPE utiliza metodologia padronizada para mapear todo o território brasileiro possibilitando a análise comparativa das referidas metodologias a partir dos mapeamentos disponíveis.

A partir dos dados do projeto TOPODATA foi possível fazer a comparação dos resultados obtidos na etapa de extração e digitalização dos dados. A análise estatística entre a classificação de vertentes elaborada por diversos autores com a base de dados do INPE objetivou avaliar a existência ou ausência de padronização nas metodologias de mapeamento de vertentes.

Cabe observar que, independentemente dos valores obtidos na comparação das metodologias de mapeamento pesquisadas com os dados disponibilizados pelo TOPODATA, a análise baseia-se na observação da regularidade dos valores obtidos para as classes de mapeamento empregadas.

Neste sentido, caso os resultados dos mapeamentos apresentem regularidade de classes de valores, mesmo estes sendo contrário ao TOPODATA, torna-se possível inferir que há um consenso nos mapeamentos. Caso os resultados sejam divergentes com classes de valores discordantes infere-se problemas metodológicos ou conceituais.

A seguir há um exemplo hipotético (TABELA 1) para ilustrar os pressupostos apresentados anteriormente.

TABELA 1 - EXEMPLO HIPOTÉTICO DE MAPEAMENTOS PARA COMPARAÇÃO – DEMONSTRAÇÃO DA METODOLOGIA

Bacia do rio X			
Vertentes identificadas como Retilíneas pelos Mapeadores A, B e C reclassificadas a partir da base de dados do TOPODATA			
	Vertentes Côncavas	Vertentes Convexas	Vertentes Retilíneas
Mapeador A	22,5%	52,7%	24,8%
Mapeador B	18,9%	59,8%	21,3%
Mapeador C	52%	30,7%	17,3%
Há consenso?	Há entre A e B, embora os valores sejam completamente divergentes da classe Retilínea, apontada pelo TOPODATA.		

FONTE: O autor (2011)

3.1 O PROJETO TOPODATA

Os dados do TOPODATA são resultados de uma pesquisa do INPE com vistas à modelagem de dados topográficos SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). O projeto partiu dos Modelos Digitais de Elevação (MDE's) obtidos a partir dos sensores orbitais do SRTM, com resolução de 90m.

De acordo com Valeriano (2005), o projeto visou à construção de um banco de dados nacional com elevação e variáveis morfométricas calculado a partir dos dados SRTM disponíveis para o Brasil. O autor afirmou ainda que os MDE's com 90m de resolução passaram por uma melhora na resolução e redução de falhas.

A partir daí os MDE's originais (extensão '.tiff') eram convertidos para um arquivo com extensão '.ascii'. Foram selecionadas 40 áreas teste com relevo e litologia heterogênea no território brasileiro (Valeriano e Rossetti, 2008) as quais passaram por análise de tendência e análise geoestatística. O fluxograma completo está demonstrado na FIGURA 10.

O último passo foi a interpolação por *krigagem*, que refinou os MDE's para uma resolução de 30m. Segundo Valeriano (2004), a interpolação por *krigagem*

trouxe ganhos sensíveis na qualidade dos modelos, permitindo uma série de aplicações antes prejudicadas por características dos dados originais.

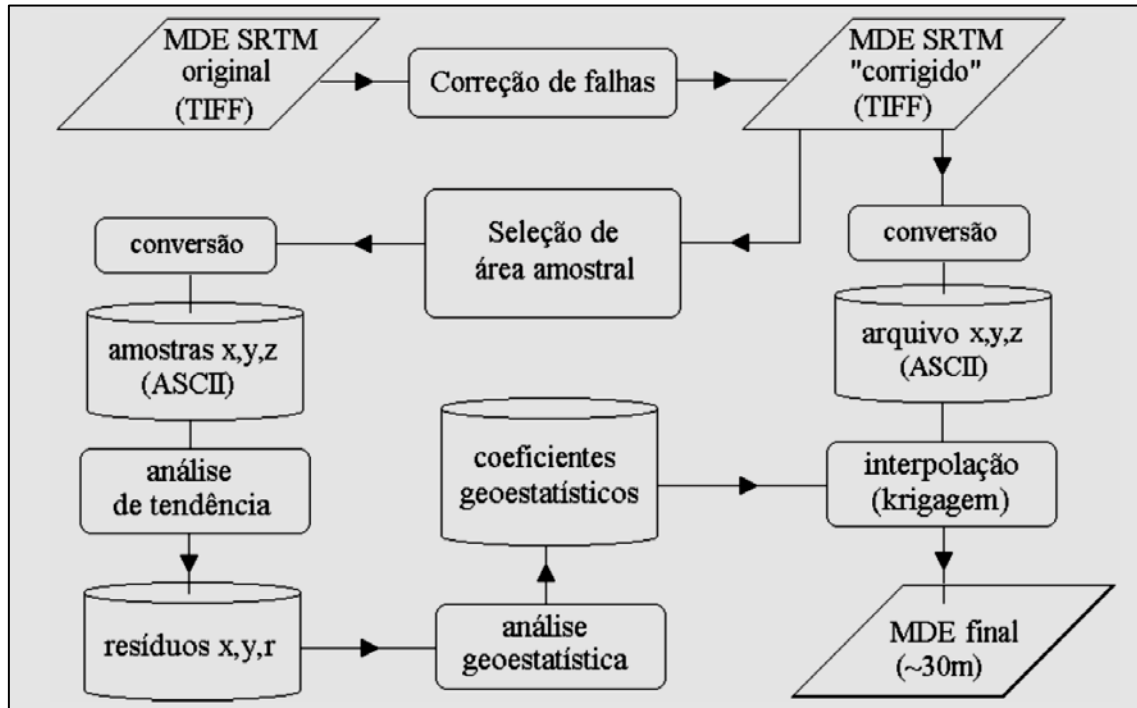


FIGURA 10 - FLUXOGRAMA PARA ELABORAÇÃO DO MDE – TOPODATA
 FONTE: Valeriano (2005)

O banco de dados do TOPODATA traz hoje diversos planos de informação, os quais são: altimetria, declividade na forma numérica, orientação de vertentes na forma numérica, curvatura horizontal na forma numérica, curvatura vertical na forma numérica, curvatura horizontal em três classes, curvatura vertical em três classes, curvatura horizontal em cinco classes, curvatura vertical em cinco classes, declividade em 4, 6 e 7 classes, orientação de vertentes em octantes, forma de terreno e delineamento de canais de drenagem e divisores de água (Valeriano, 2008b).

O banco de dados do TOPODATA já passou por um refinamento geoestatístico, conforme exposto por Valeriano e Rosseti (2008). Este processo ocorreu de forma planejada, pois além da dificuldade encontrada na época da implantação para unificar os modelos para as diversas regiões do Brasil, esperava-se um retorno e crítica por parte dos usuários para que a base de dados pudesse ser melhorada.

Propôs-se à época que os usuários tivessem disponíveis três tipos de dados: originais com resolução de 90m (SRTM), MDE krigados com resolução de 30m e planos de informações de variáveis morfométricas, calculados sob métodos automáticos. Esperava-se que com isso os produtos pudessem atingir três tipos de usuários e que estes fossem capazes de dar retorno ao INPE:

- 1) usuário A – utilizaria banco de dados morfométricos sem que fosse necessário o domínio das etapas que precedem a obtenção das variáveis;
- 2) usuário B – aplicaria os modelos preparados em seus próprios cálculos para obtenção das mesmas variáveis ou de outras, apropriadas a finalidades específicas que não eram atendidas pelas variáveis disponibilizadas;
- 3) usuário C – usuário avançado, poderia fazer uso dos dados originais, com metodologia própria de criação do MDE e de análise.

O ciclo de desenvolvimento proposto para o banco de dados topográficos pode ser observado na FIGURA 11.

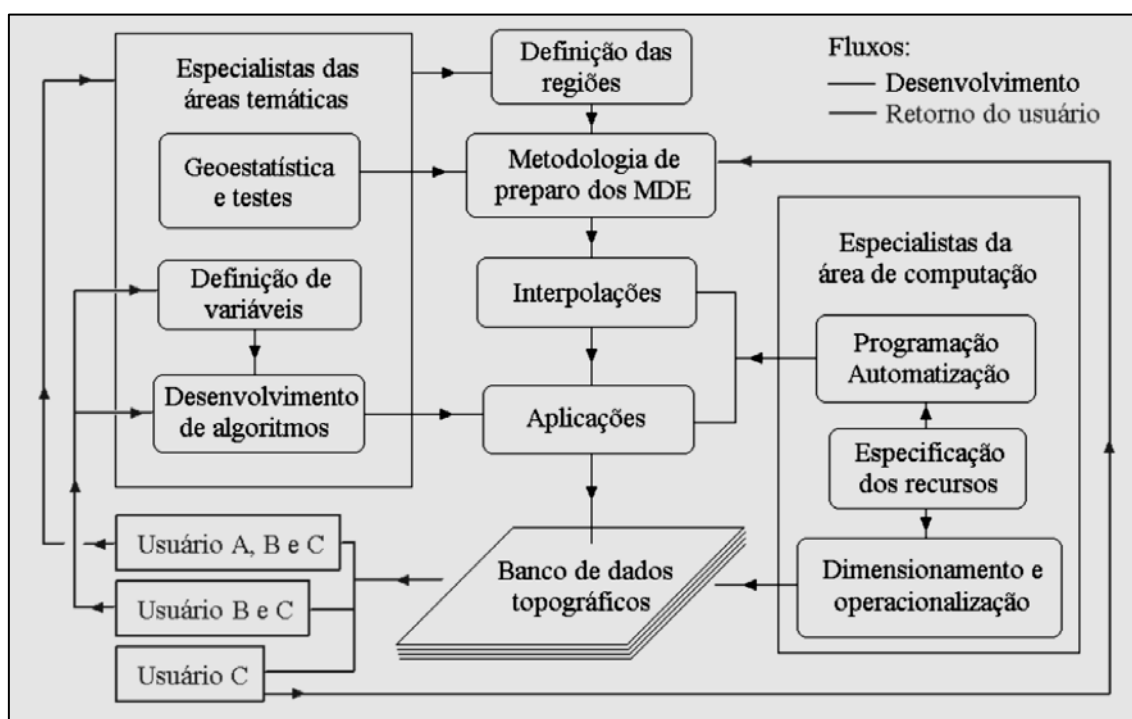


FIGURA 11 - O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS TOPOGRÁFICOS – TOPODATA

FONTE: Valeriano (2005)

3.2 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO APLICADA POR KOZCIAK (2005) PARA A BACIA DO RIO MARUMBI

Kozciak (2005) utilizou como base para o mapeamento das vertentes da Bacia do Rio Marumbi – PR cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), na escala 1:25.000. A partir destas gerou um Modelo Digital de Elevação (MDE) no *software* ESRI ArcInfo, utilizando como interpolador o método do Inverso do Quadrado da Distância.

A autora afirma que, partir deste MDE, “no ArcInfo, utilizando o comando *CURVATURE* do grid”, foi gerado o mapa de tipos de vertentes.

A metodologia de análise aplicada pela ferramenta *curvature*, no ArcGis, é baseada em Zevenbergen e Thorne (1987). De acordo com ESRI (2012), a ferramenta calcula a forma do terreno para cada célula do grid, baseado em uma janela de 3x3, a partir de um polinômio de quarta ordem (FIGURA 12).

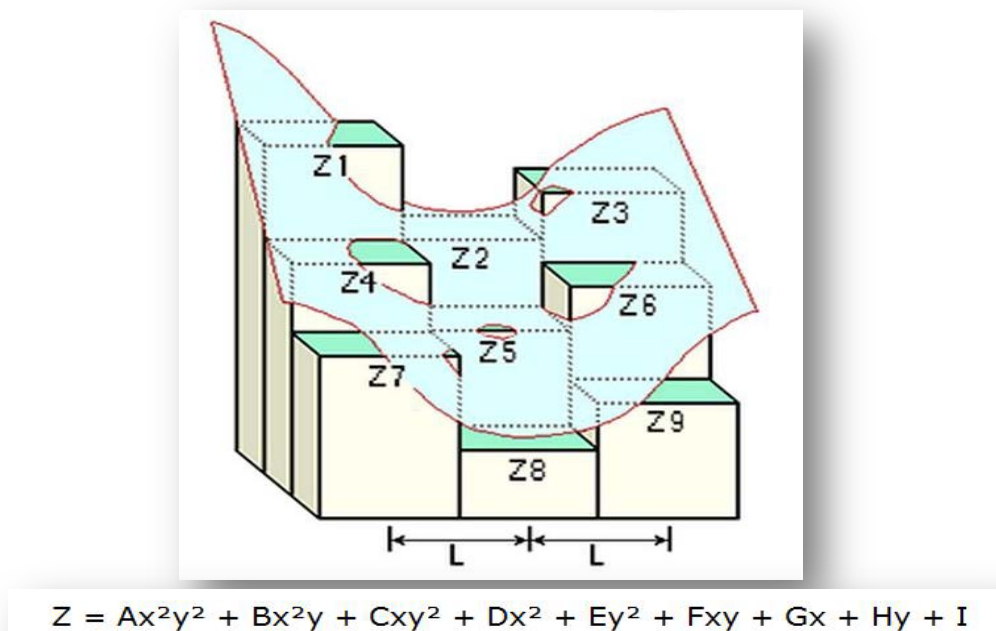


FIGURA 12 - *CURVATURE* – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA JANELA 3X3 E POLINÔMIO DE QUARTA ORDEM
FONTE: ESRI (2012)

3.3 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO APLICADA POR CUNICO (2007) PARA A BACIA DO RIO MARUMBI

A pesquisa de Cunico (2007) utilizou a metodologia de mapeamento das formas de vertentes a partir do perfil assumido pelas curvas de nível (FIGURA 13), de acordo com a proposta de Müller Filho e Sartori (1999¹⁰).

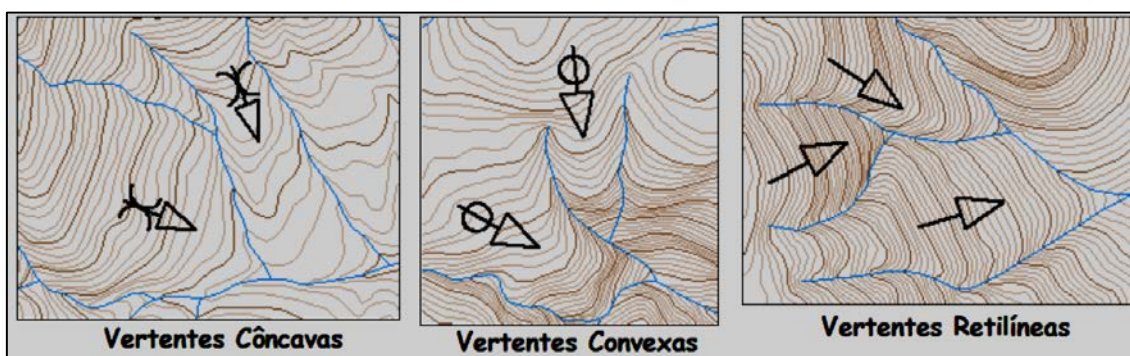


FIGURA 13 - ESQUEMA PARA IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE VERTENTES
FONTE: Cunico (2007)

Cunico (2007) afirma que as vertentes são retilíneas quando as curvas de nível apresentam igual afastamento entre elas; côncavas quando o afastamento gráfico entre as curvas aumenta à medida que as altitudes decrescem e convexas quando o afastamento torna-se menor à medida que as altitudes decrescem.

Após a identificação por perfis, a autora efetuou um processo de generalização cartográfica, a fim de elaborar o mapeamento por polígonos. Segundo a autora, a generalização foi feita de acordo com a proposta de Hendler (2003¹¹) e Boiko (2004¹²).

¹⁰ MÜLLER FILHO, I. L.; SARTORI, M. G. B. **Elementos para a interpretação geomorfológica de cartas topográficas: contribuição a análise ambiental**. Santa Maria: UFSM, 1999.

¹¹ HENDLER, A. M. **Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Guaraqueçaba (PR) – uma visão têmporo-espacial**. Monografia de Conclusão de Curso (Grau de Bacharel). Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

Sobre a metodologia de generalização a autora afirma que “estipulou-se que para o fechamento do polígono seria necessário no mínimo três vertentes iguais, ocorrendo somente uma ou duas, seriam agrupadas ao polígono predominante mais próximo”.

As cartas topográficas utilizadas como base para a pesquisa foram obtidas junto à Secretaria de Meio Ambiente – SEMA, sendo oriundas da Divisão de Serviços Geográficos do Exército (DSG), na escala 1:25.000.

3.4 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO APLICADA POR SILVEIRA (2010) NO ARROIO DO CORVO

A base cartográfica utilizada por Silveira (2010) em sua pesquisa na Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo foram as folhas topográficas obtidas junto à Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), na escala 1:10.000.

O autor digitalizou as folhas topográficas e em seguida as georreferenciou. A partir daí, iniciou-se o processo de geração de um Modelo Digital do Terreno (MDT), o qual foi processado em uma grade triangular (TIN) e em seguida convertido para uma grade retangular.

Saraiva (2001¹³) *apud* Silveira (2010) afirma que os modelos digitais do tipo grade triangular ou TIN (*Triangular Irregular Network*) representam uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas, formados pelos pontos amostrados da superfície que se articulam aos vértices.

¹² BOIKO, J. D. **Mapeamento geomorfológico e fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Curralinho - Região Metropolitana de Curitiba/PR**. Curitiba. 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - UFPR.

¹³ SARAIVA, C. C. S. Avaliação das grades regulares geradas pelos métodos Kriging e inverso da distância de uma potência para fins de monorestituição. In: **II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2001.

Os modelos digitais retangulares, de acordo com Felgueiras (1998¹⁴) *apud* Silveira (2010) consistem em um poliedro de faces retangulares, cujo processo de elaboração consiste em estimar valores de cota de cada ponto a partir do conjunto de amostras de entrada. O autor afirma ainda que tais modelos são muito usados em SIG's pela facilidade de manipulação e geração dos dados.

O cálculo da forma da vertente (plano e perfil de curvatura) foi elaborado por Silveira (2010) no *software* MatLab. O autor desenvolveu uma rotina para calcular os atributos por meio de uma janela, ou sub matriz, com nove nós, que calcula os parâmetros de uma célula central e seus vizinhos em uma janela de oito células que se deslocam 3x3, de acordo com metodologia proposta por McBratney *et al.* (2003¹⁵), conforme demonstrado na FIGURA 14.

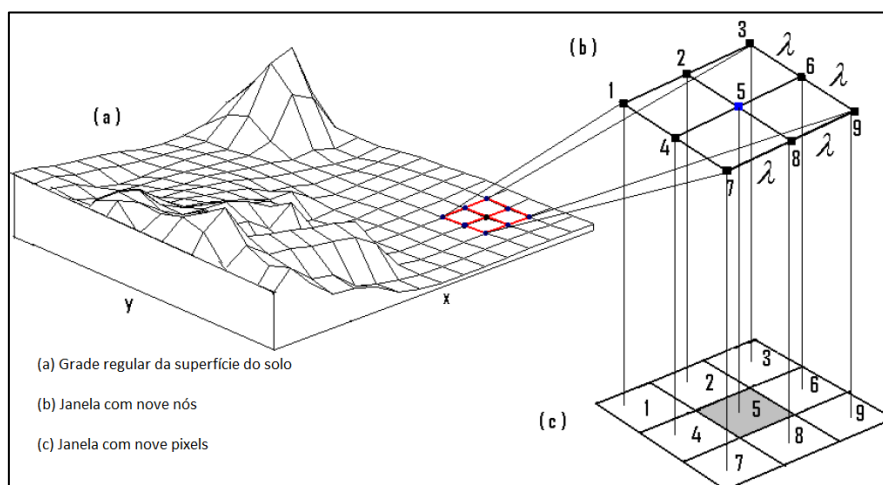


FIGURA 14 – ESQUEMA DE GERAÇÃO ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS
FONTE: Silveira (2010)

¹⁴ FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In. CÂMARA, G; MEDEIROS, J. S. (Org). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, ed. 2, p. 4-39, 1998. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/4mnt.pdf.

¹⁵ McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2003.

A fórmula matemática utilizada pelo autor para calcular plano de curvatura e perfil de curvatura foi baseada em Moore *et al.* (1993¹⁶) e está demonstrada abaixo (FIGURA 15), onde 'φ' refere-se ao perfil e 'ω' ao plano de curvatura.

$$\varphi = \frac{-2(f_{xx} f_x^2 + f_{xy} f_x f_y + f_{yy} f_y^2)}{f_x^2 + f_y^2}$$

$$\omega = \frac{2(f_{xx} f_y^2 - f_{xy} f_x f_y + f_{yy} f_x^2)}{f_x^2 + f_y^2}$$

FIGURA 15 - - EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DE PERFIL E PLANO DE CURVATURA DE VERTENTES
 FONTE: Silveira (2010)

¹⁶ MOORE, I. D.; GESSLER, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARUMBI

As formas das vertentes na Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi/PR foram abordadas nesta pesquisa apenas sob o aspecto do perfil de curvatura, pois os trabalhos elaborados por Kozciak (2005) e Cunico (2007) não haviam mapeado as vertentes a partir do plano de curvatura.

Portanto, como o intuito da pesquisa foi o de elaborar uma análise comparativa com base em critérios estatísticos entre a base de dados do projeto TOPODATA com os trabalhos de Kozciak (2005) e Cunico (2007), para a Bacia do Rio Marumbi as formas em plano de curvatura não foram objetos de estudo.

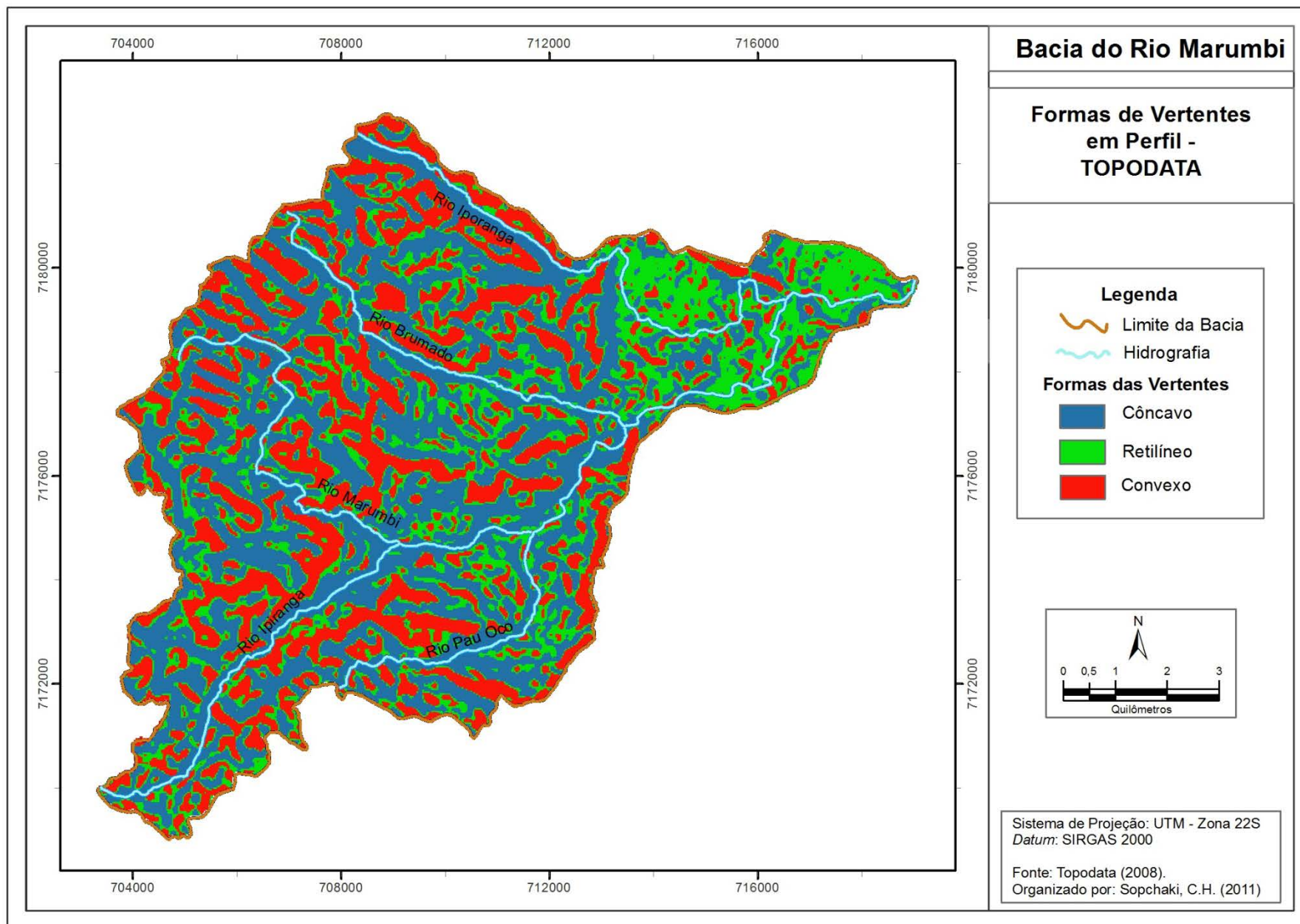
Para a extração das formas das vertentes em perfil de curvatura do banco de dados morfométricos do projeto TOPODATA foi utilizado o produto de Curvatura Vertical na Forma Numérica, expressa na diferença de ângulo dividida pela distância horizontal, ou seja, pode ser medida em graus por metro ($^{\circ}/m$).

Para a curvatura em perfil, valores nulos representariam vertentes retilíneas, enquanto valores negativos seriam côncavos e positivos seriam classificados como convexos. No entanto, muito do que se julga ser retilíneo não apresenta uma curvatura rigorosamente nula.

A fim de se estabelecer um intervalo de valores para identificar as formas retilíneas foi utilizada a metodologia proposta por Valeriano (2008b), que estabelece a faixa entre $-0,010^{\circ}/m$ e $+0,010^{\circ}/m$ como valores de curvatura típicos de vertentes tidas como retilíneas.

O resultado do mapeamento de vertentes em perfil de curvatura para a Bacia do Rio Marumbi, com base nos dados do TOPODATA, pode ser observado no MAPA 1.

Observa-se que o TOPODATA não mapeia as vertentes tal qual são conceituadas, mas sim segmentos das mesmas, pois o resultado é um mapeamento *pixel a pixel*.

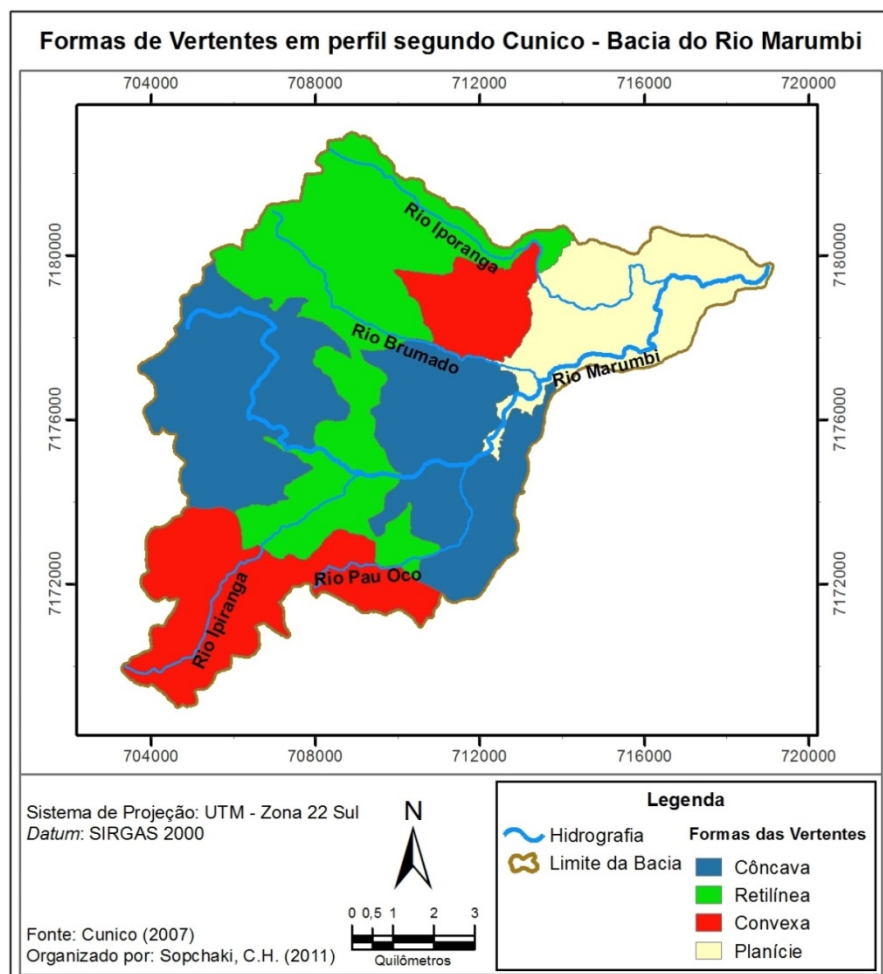


MAPA 1 - BACIA DO RIO MARUMBI – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL DE ACORDO COM A BASE DE DADOS DO TOPODATA

4.1.1 Vertentes mapeadas por Cunico (2007)

A análise e discussão dos resultados obtidos na Bacia do Rio Marumbi inicia-se pela pesquisa efetuada por Cunico (2007), que conforme exposto anteriormente, mapeou as formas de vertentes conforme o perfil assumido pelas curvas de nível e, posteriormente, efetuou um processo de generalização cartográfica.

O mapeamento das vertentes elaborado pela autora (MAPA 2) demonstra o processo de generalização cartográfica outrora detalhado, pois o mapeamento traz polígonos que, em tese, mapeiam toda a extensão de uma ou mais vertentes. Cunico (2007) classificou as vertentes em côncavas, convexas, retilíneas e planícies.



MAPA 2 - BACIA DO RIO MARUMBI – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL CONFORME CUNICO (2007)

A partir da extração e separação dos polígonos mapeados por Cunico (2007), os mesmos foram reclassificados de acordo com o mapeamento obtido a partir da base de dados do projeto TOPODATA (apresentado no MAPA 1).

O recorte com os segmentos de vertentes classificados por Cunico (2007) como côncavos e reclassificados a partir dos dados do projeto TOPODATA trazem como resultado (MAPA 3) que os valores observados após a reclassificação dos mesmos foram: 47,47% côncavos, 21,75% retilíneos, e 30,78% convexas.

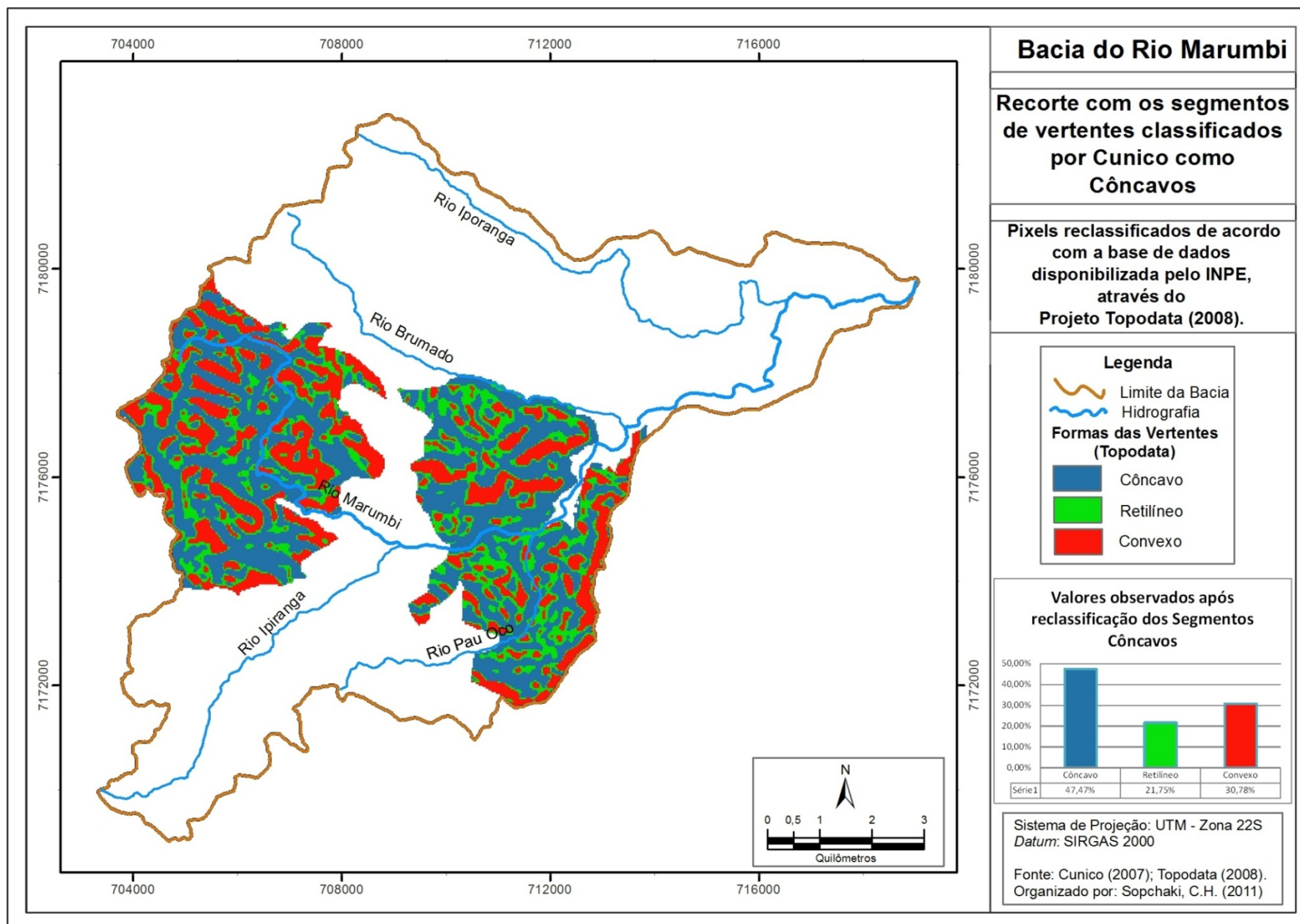
Na prática tal resultado implica em dizer que da totalidade das vertentes que a autora mapeou como sendo Côncavas, para a base de dados do TOPODATA, somente 47,47% são realmente côncavas, sendo que dos 52,53% restantes, 30,78% são convexas e 21,75% são retilíneos.

Com relação ao recorte com os segmentos de vertentes classificados por Cunico (2007) como sendo retilíneos e reclassificados a partir dos dados obtidos no TOPODATA, conforme demonstrado no MAPA 4, os resultados demonstram que destas, somente 17,22% são consideradas retilíneas pelo TOPODATA, 46,74% são identificadas como vertentes côncavas e 36,04% como vertentes convexas.

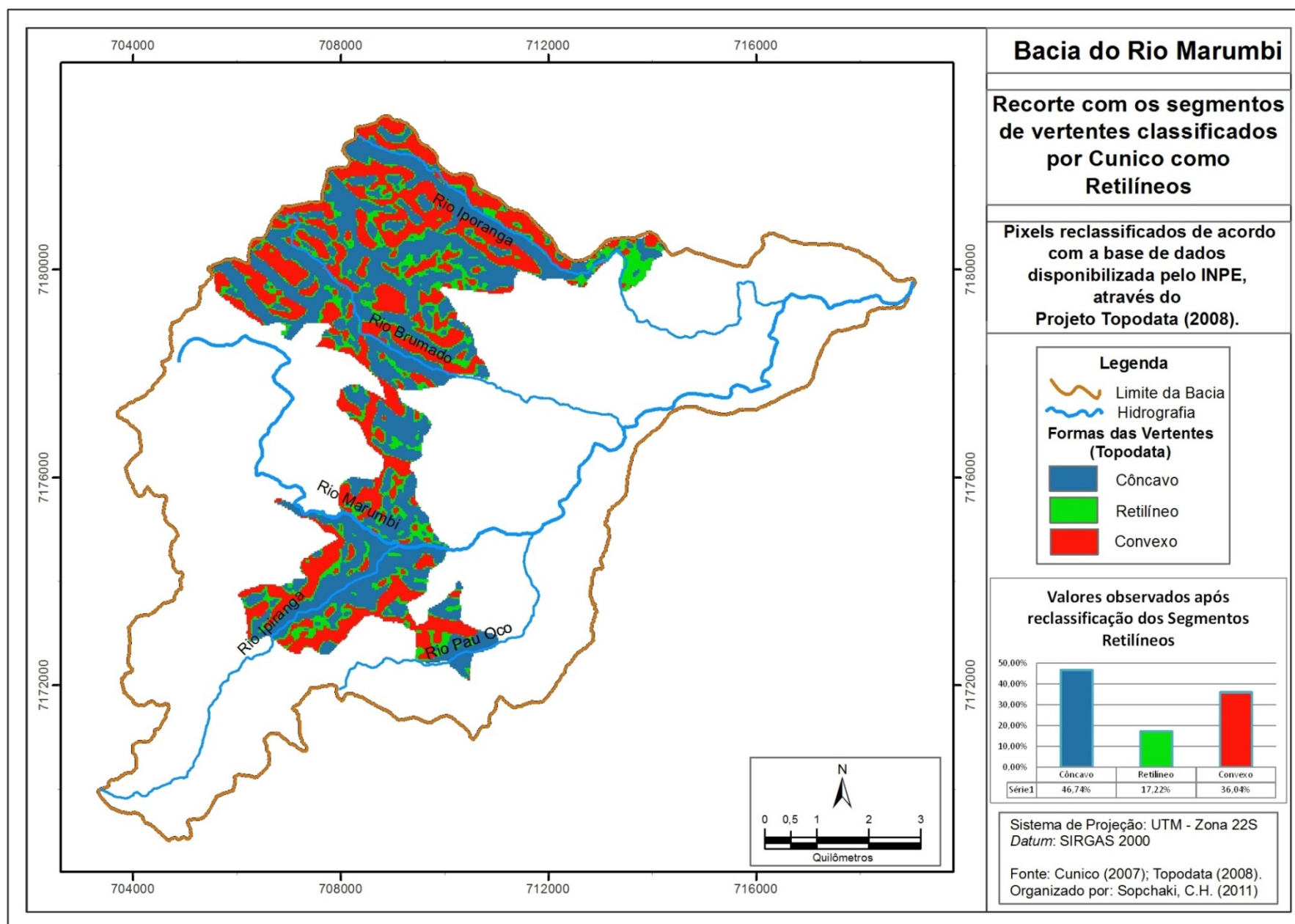
As vertentes identificadas pela autora como convexas e reclassificadas a partir dos dados do projeto TOPODATA (MAPA 5), demonstram que a maior parte foi mapeada como côncava pelo TOPODATA (47,22%), 19,21% foram mapeadas como retilíneas e 33,57% foram mapeadas como convexas.

Conforme exposto anteriormente, Cunico (2007) classificou ainda algumas vertentes como planície, no entanto o TOPODATA, no que diz respeito ao perfil de curvatura, classifica as vertentes como côncava, retilínea e convexa.

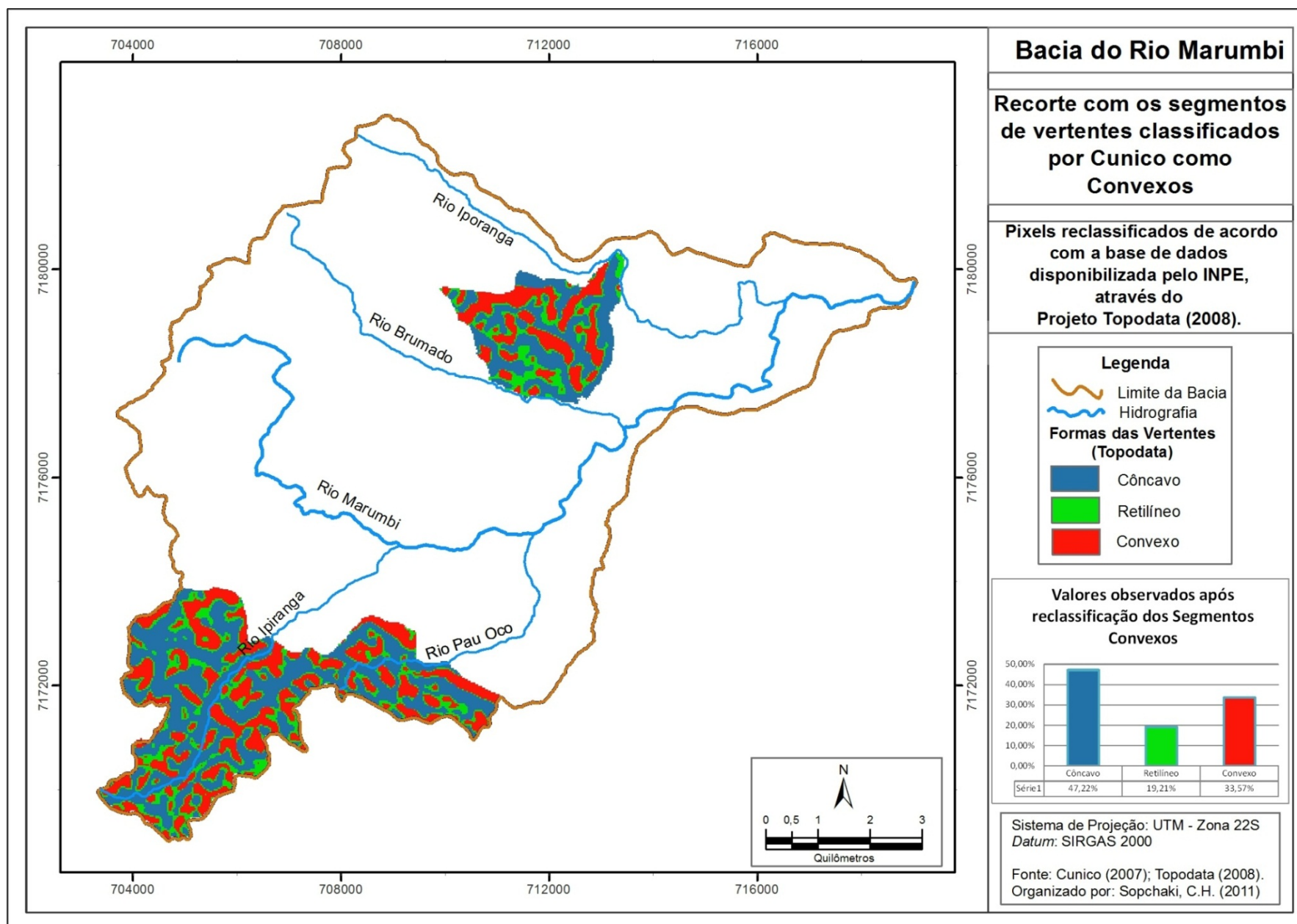
Sendo assim, as vertentes mapeadas pela autora como planície, após reclassificação a partir da base de dados do TOPODATA, foram consideradas como sendo 50,21% retilíneas, 32,96% côncavas e 16,83% convexas.



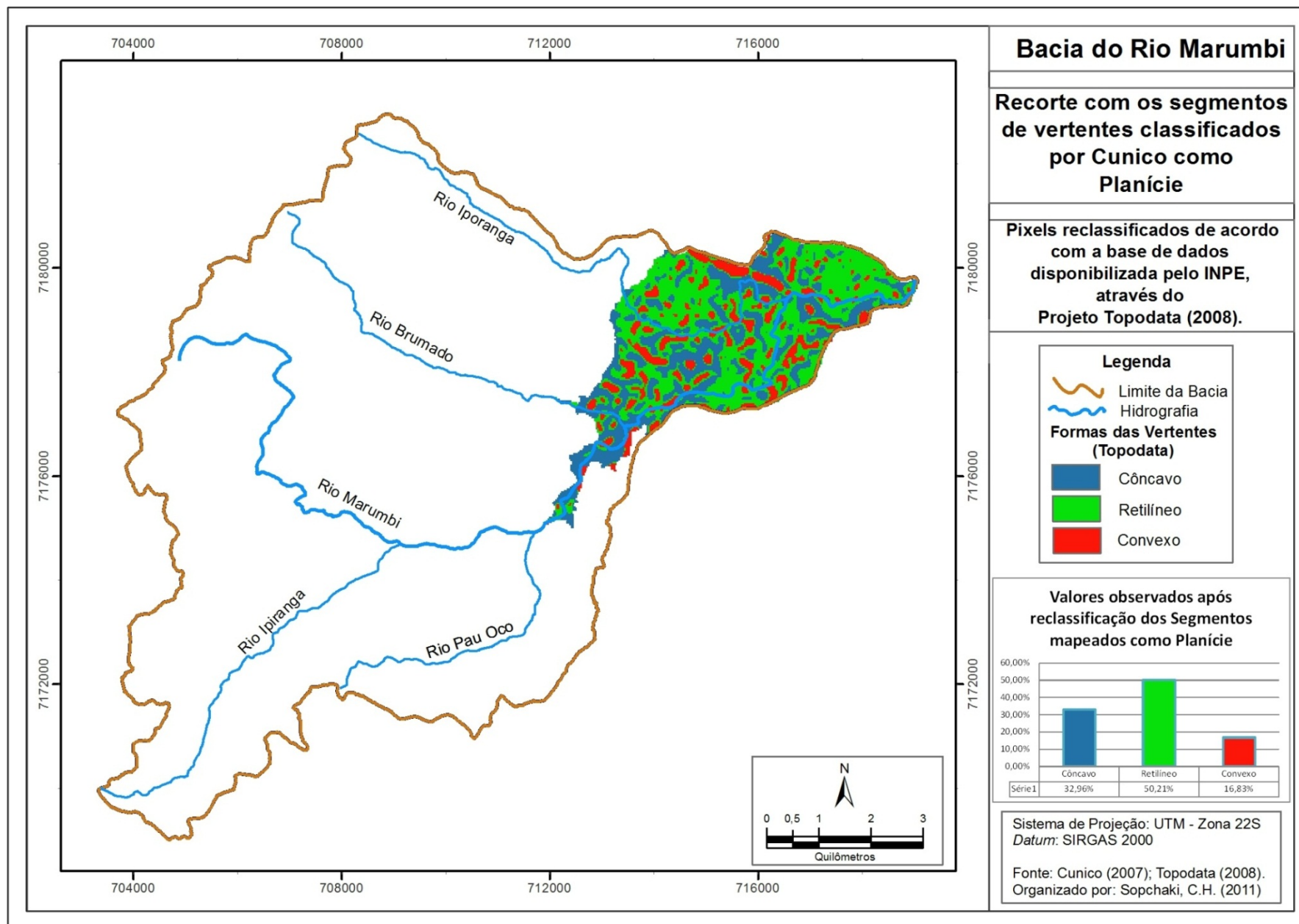
MAPA 3 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR CUNICO COMO CÔNCAVOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



MAPA 4 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR CUNICO COMO RETILÍNEOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



MAPA 5 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR CUNICO COMO CONVEXOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



MAPA 6 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR CUNICO COMO PLANÍCIE – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA

4.1.2 Vertentes mapeadas por Kozciak (2005)

Kozciak (2005), conforme detalhado anteriormente, efetuou o mapeamento das vertentes utilizando a ferramenta *curvature* no *software* ArcGis, a partir de um MDE, o qual gerou utilizando o interpolador do método do Inverso do Quadrado da Distância.

O resultado do mapeamento obtido pela autora (MAPA 7)¹⁷ demonstra claramente as diferenças entre as metodologias por ela utilizada e a metodologia aplicada por Cunico (2007).

Enquanto em Cunico (2007) as vertentes foram mapeadas conforme o perfil assumido pelas curvas de nível e posteriormente agrupadas e classificadas por processo de generalização cartográfica, em Kozciak (2005) o mapeamento apresenta vários segmentos de vertentes mapeados, pois o resultado da ferramenta *curvature* é um mapeamento *pixel a pixel*.

Os segmentos mapeados por Kozciak (2005) foram separados e extraídos a fim de serem reclassificados de acordo com o mapeamento obtido junto à base de dados do projeto TOPODATA.

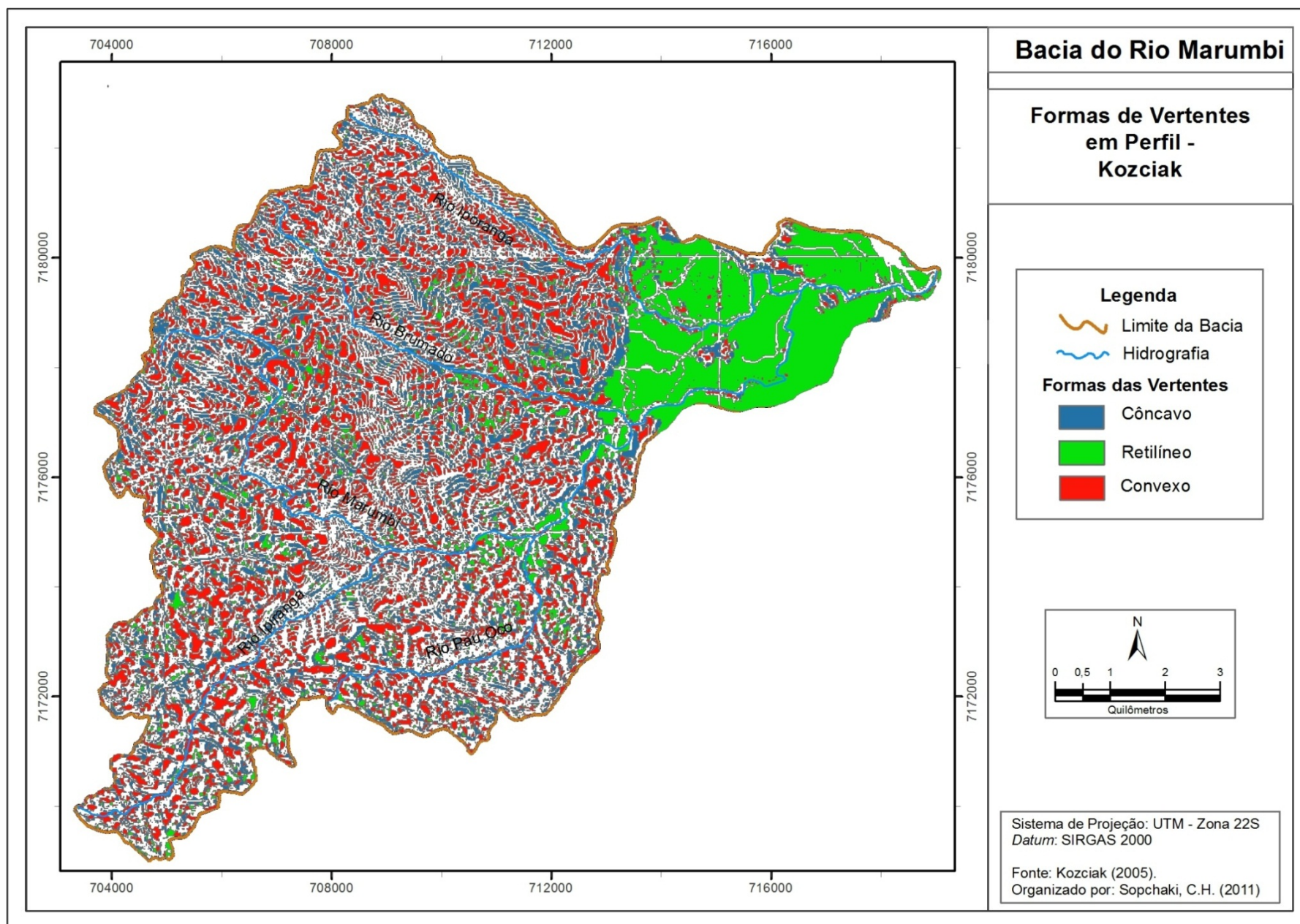
Após a reclassificação, de acordo com a base de dados do TOPODATA, do recorte com os segmentos de vertentes identificados por Kozciak (2005) como sendo côncavos (MAPA 8) os valores obtidos foram: 53,38% dos segmentos côncavos, 27,57% dos segmentos convexos e 19,06% dos segmentos retilíneos.

Para o recorte com segmentos de vertentes classificados por Kozciak (2005) como retilíneos e reclassificados a partir dos dados do projeto TOPODATA (MAPA 9) o resultado é de 36,28% dos segmentos côncavos, 43,69% dos segmentos retilíneos e 20,03% dos segmentos convexos.

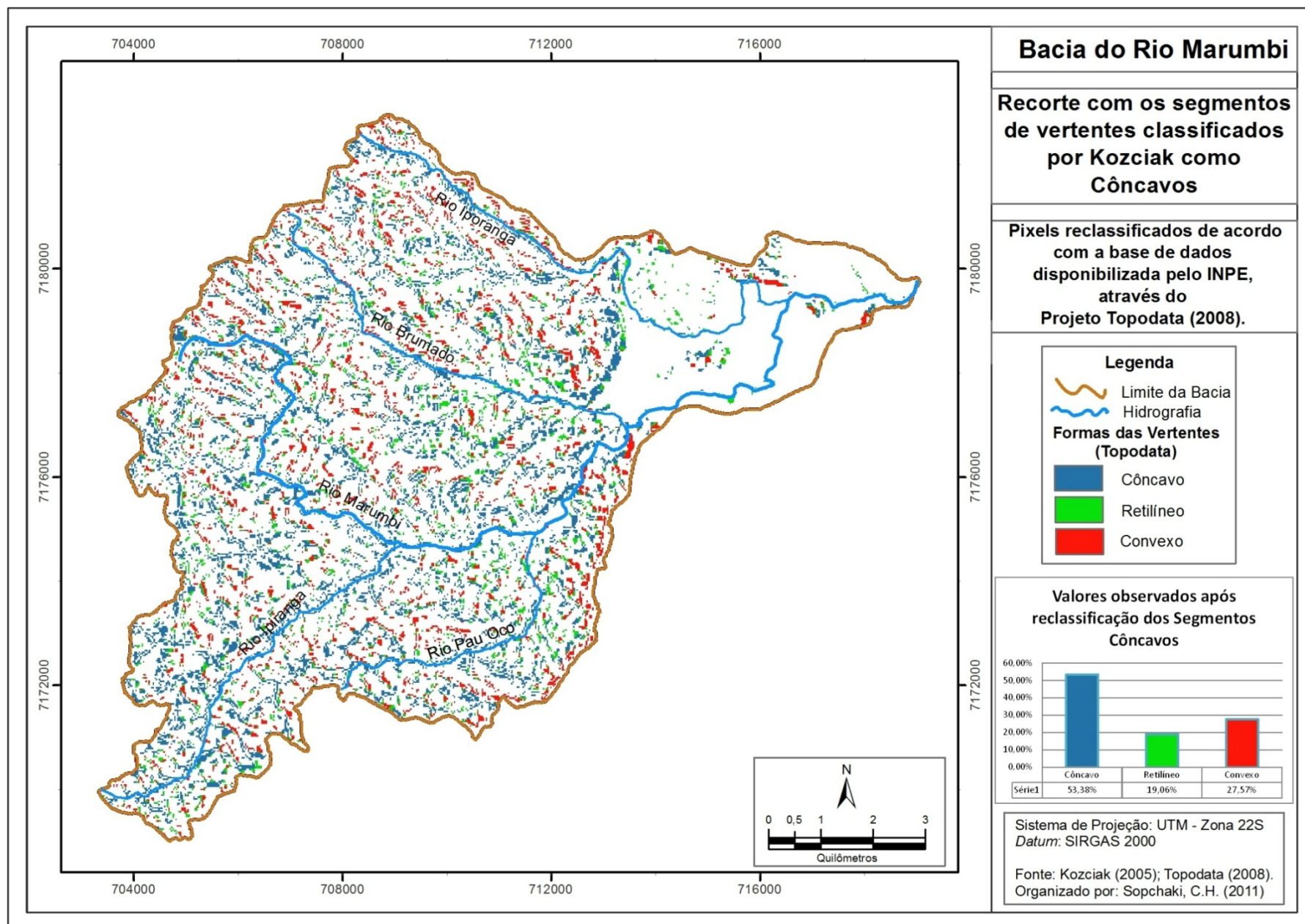
¹⁷ O MAPA 7 (Bacia do Rio Marumbi – Formas de Vertentes em Perfil segundo Kozciak) apresenta espaços em branco. Tal fato se deve ao processo de vetorização do mapa original, disponível na pesquisa de Kozciak (2005). O mapa possuía toda a rede de drenagem mapeada (afluentes dos rios principais), arruamento, estradas vicinais, nomenclaturas de localidades e de hidrografia, além de linhas de coordenadas UTM. Como o objeto desta pesquisa são as vertentes, os demais dados não foram vetorizados.

Os segmentos de vertentes mapeados como sendo convexos por Kozciak (2005) e reclassificados a partir dos dados do projeto TOPODATA (MAPA 10), demonstram que, para o TOPODATA somente 41,55% são convexos, enquanto 37,95% são côncavos e 20,51% são retilíneos.

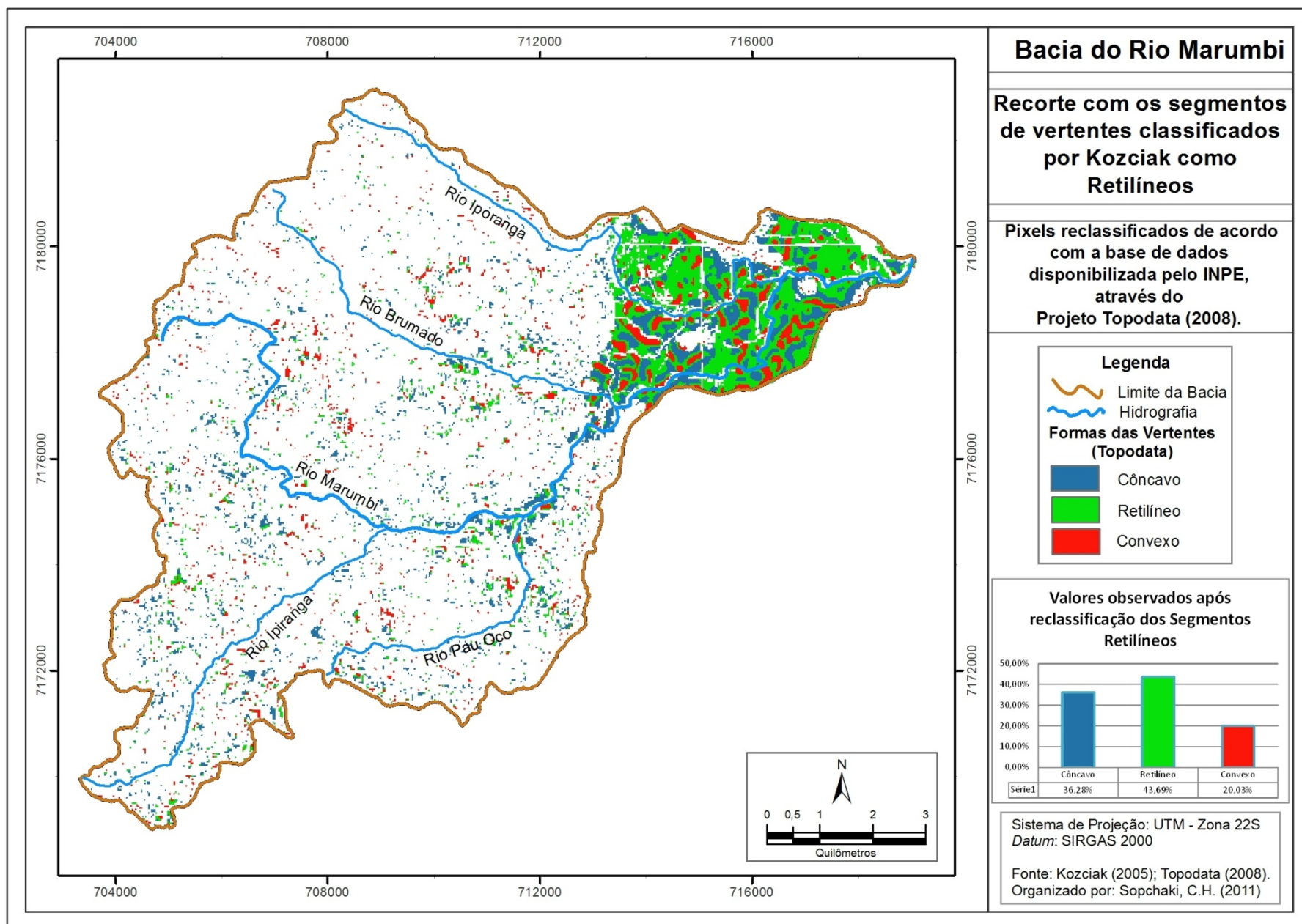
Os números apresentados demonstram que os melhores resultados obtidos referem-se à classe dos valores côncavos (coincidência estatística de 53,38%), seguida pelos retilíneos (43,69%) e por fim pelos segmentos convexos (41,55% de coincidência estatística).



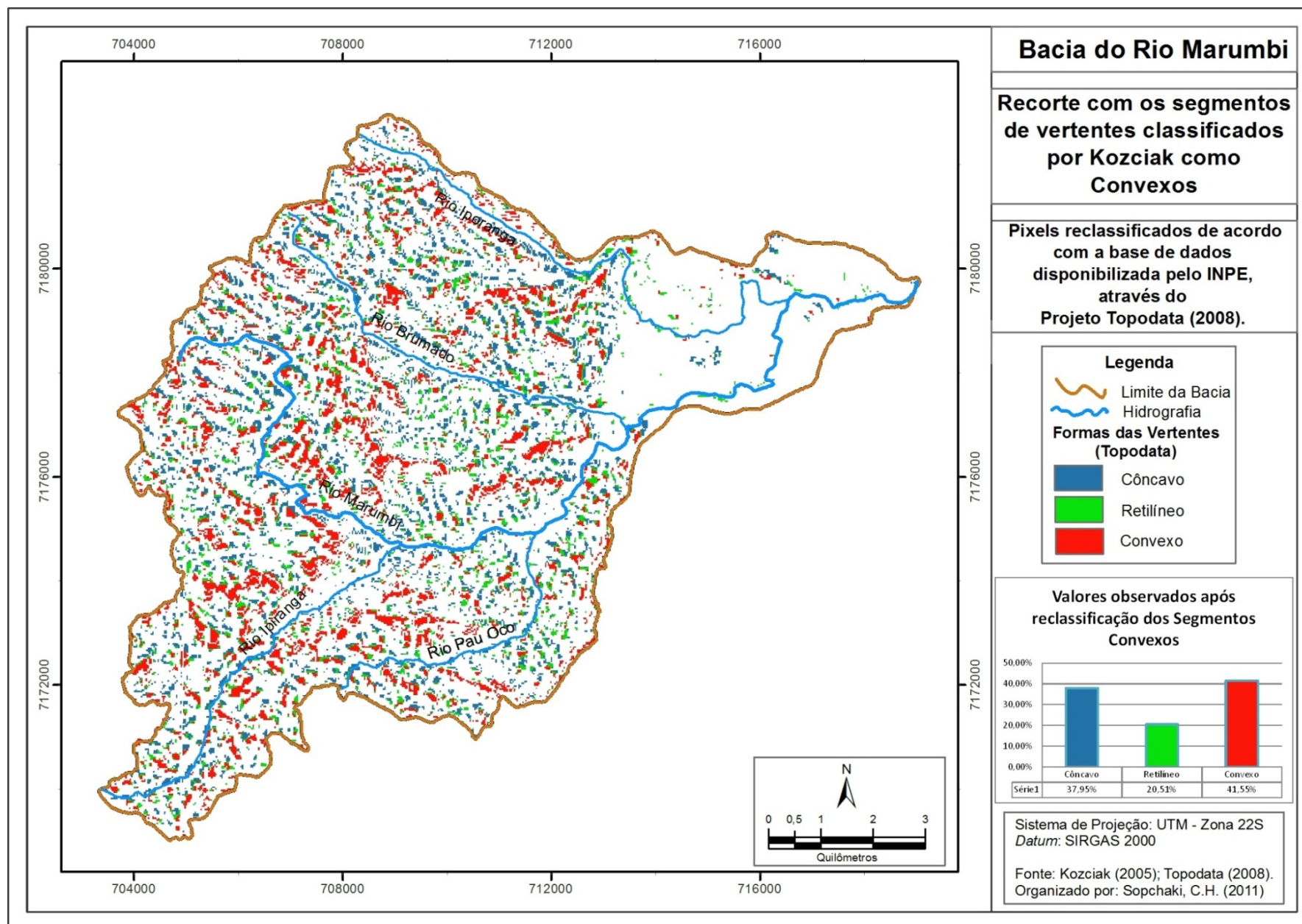
MAPA 7 - BACIA DO RIO MARUMBI – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL SEGUNDO KOZCIAK



MAPA 8 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR KOZCIAK COMO CÔNCAVOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



MAPA 9 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR KOZCIAK COMO RETILÍNEOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



MAPA 10 - BACIA DO RIO MARUMBI – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR KOZCIK COMO CONVEXOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA

4.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO CORVO

4.2.1 Segmentos mapeados em perfil de curvatura

Diferentemente da Bacia do Rio Marumbi, onde foram trabalhadas apenas as formas de vertente em perfil de curvatura, para a Bacia Hidrográfica do Arroio do Corvo foram abordadas as formas em perfil e plano de curvatura, pois a pesquisa efetuada por Silveira (2010) mapeou as vertentes tridimensionalmente (plano e perfil de curvatura).

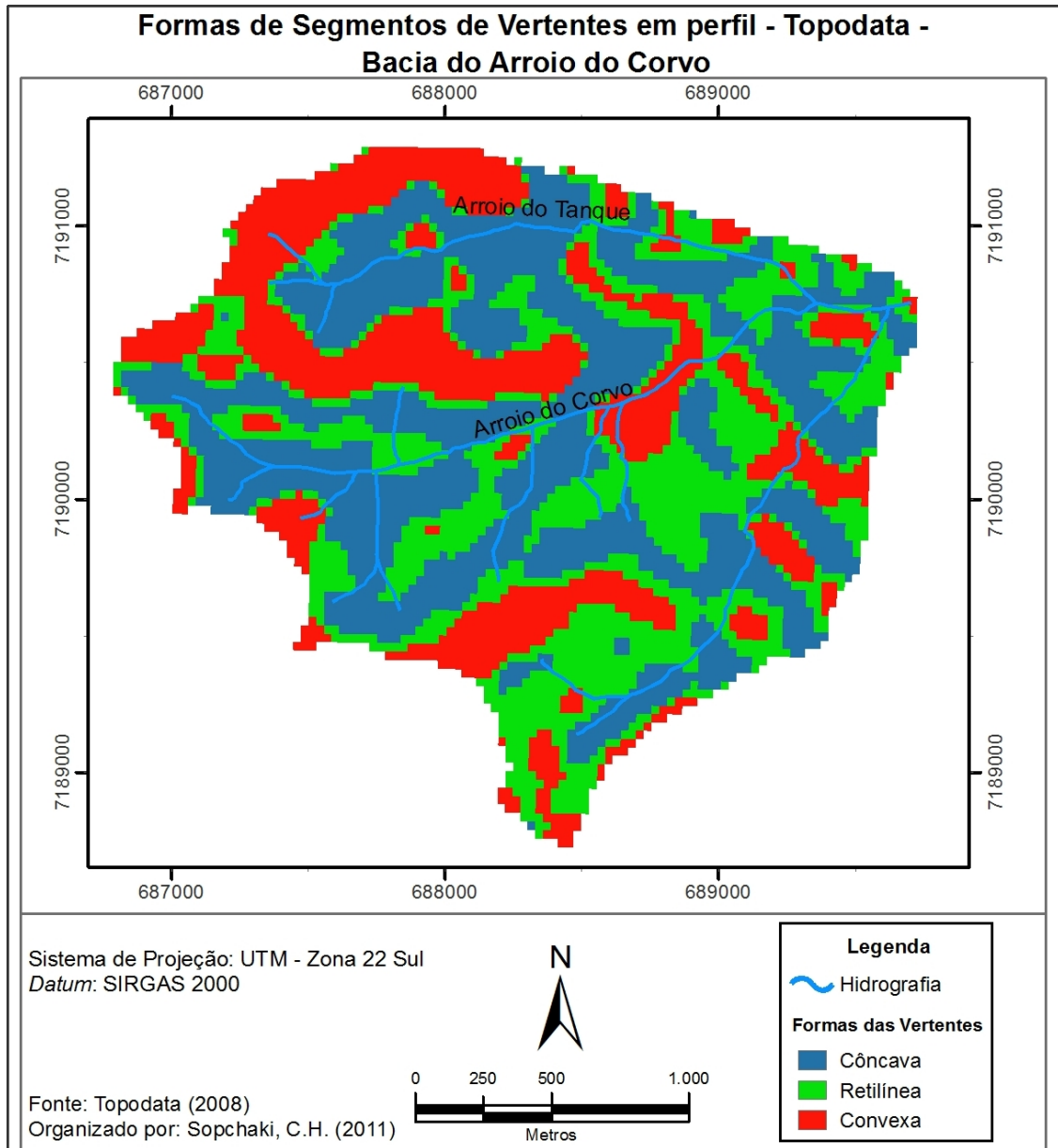
Para a extração das formas das vertentes em perfil de curvatura do banco de dados morfométricos do projeto TOPODATA, assim como anteriormente nas análises da Bacia do Rio Marumbi, foi utilizado o produto de Curvatura Vertical na Forma Numérica. O limiar estabelecido para os valores de curvatura de vertentes retilíneas foi a faixa entre $-0,0055^{\circ}/m$ e $+0,0055^{\circ}/m$, conforme proposta de Valeriano (2003).

O mapeamento das vertentes em perfil de curvatura para a Bacia do Arroio do Corvo, com base nos dados do TOPODATA, pode ser observado no MAPA 11.

Silveira (2010) identificou as vertentes a partir de rotinas matemáticas no *software* MatLab, sobre MDT obtido por processo de triangulação, convertido em seguida para uma grade retangular, conforme exposto em detalhe anteriormente.

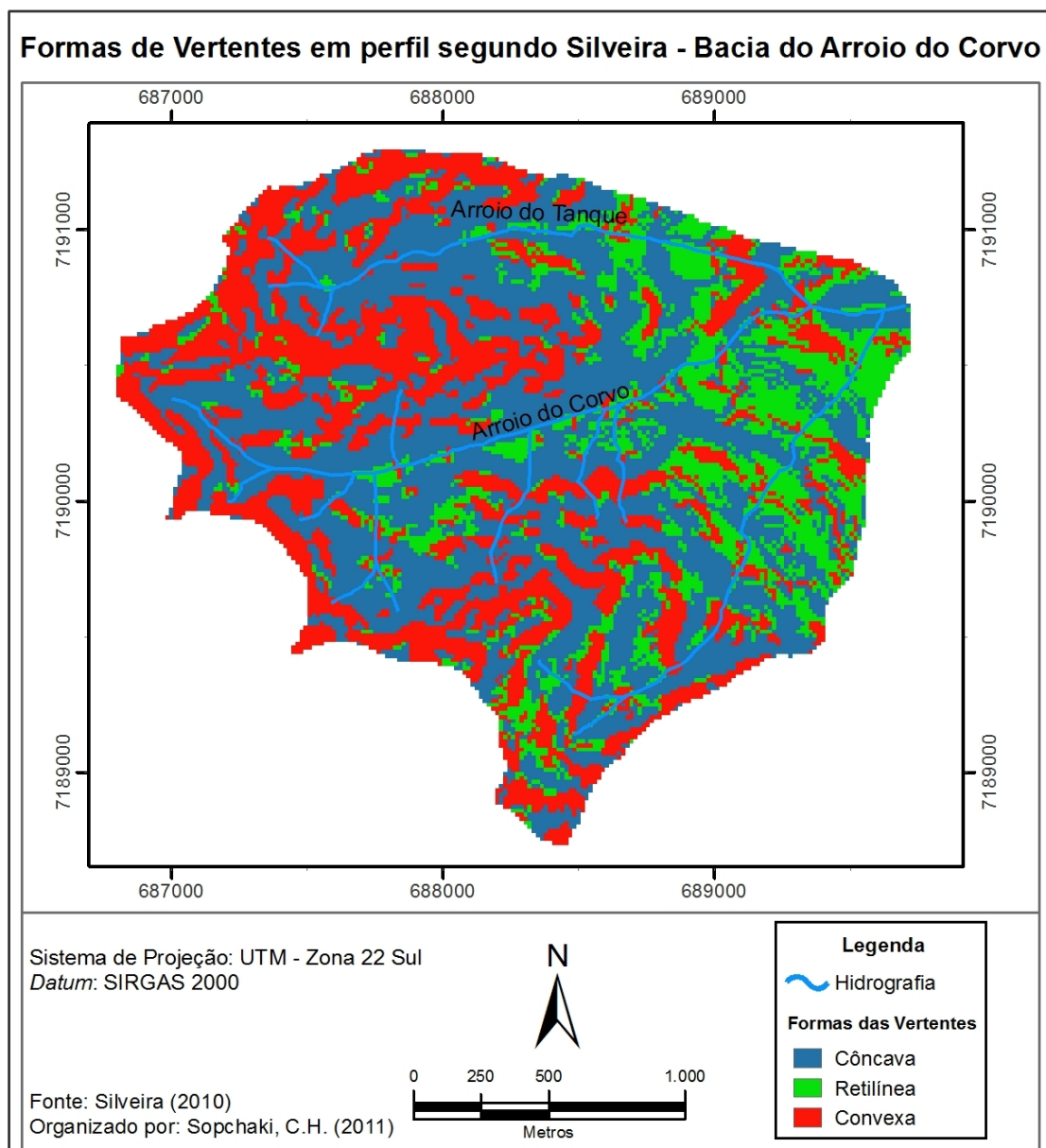
O resultado da identificação das vertentes em perfil obtido por Silveira (2010), pode ser observado no MAPA 12. Verifica-se que esta metodologia produz um mapeamento de segmento de vertentes, posto que não as identifica em suas totalidades, tais como são conceituadas.

Os segmentos de vertentes classificados por Silveira (2010) foram separados e reclassificados conforme a base de dados do TOPODATA (apresentada no MAPA 11).



MAPA 11 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA

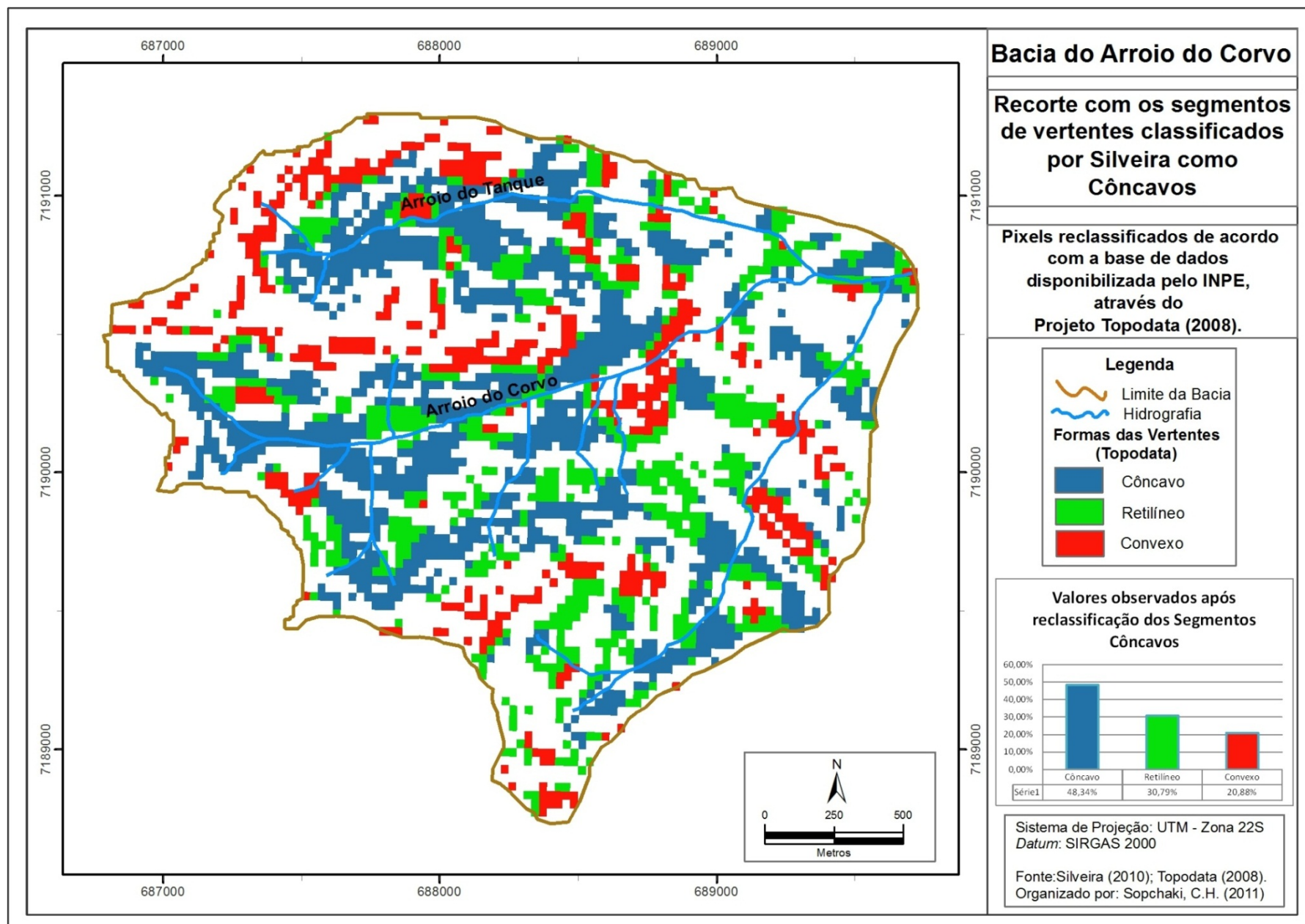
O recorte com os segmentos de vertentes classificados por Silveira (2010) como côncavos e reclassificados a partir dos dados do projeto TOPODATA (MAPA 13) apresentam o seguinte resultado: 48,34% dos segmentos correspondem a segmentos côncavos, 30,79% correspondem a retilíneos e 20,88% correspondem a segmentos convexos do TOPODATA.



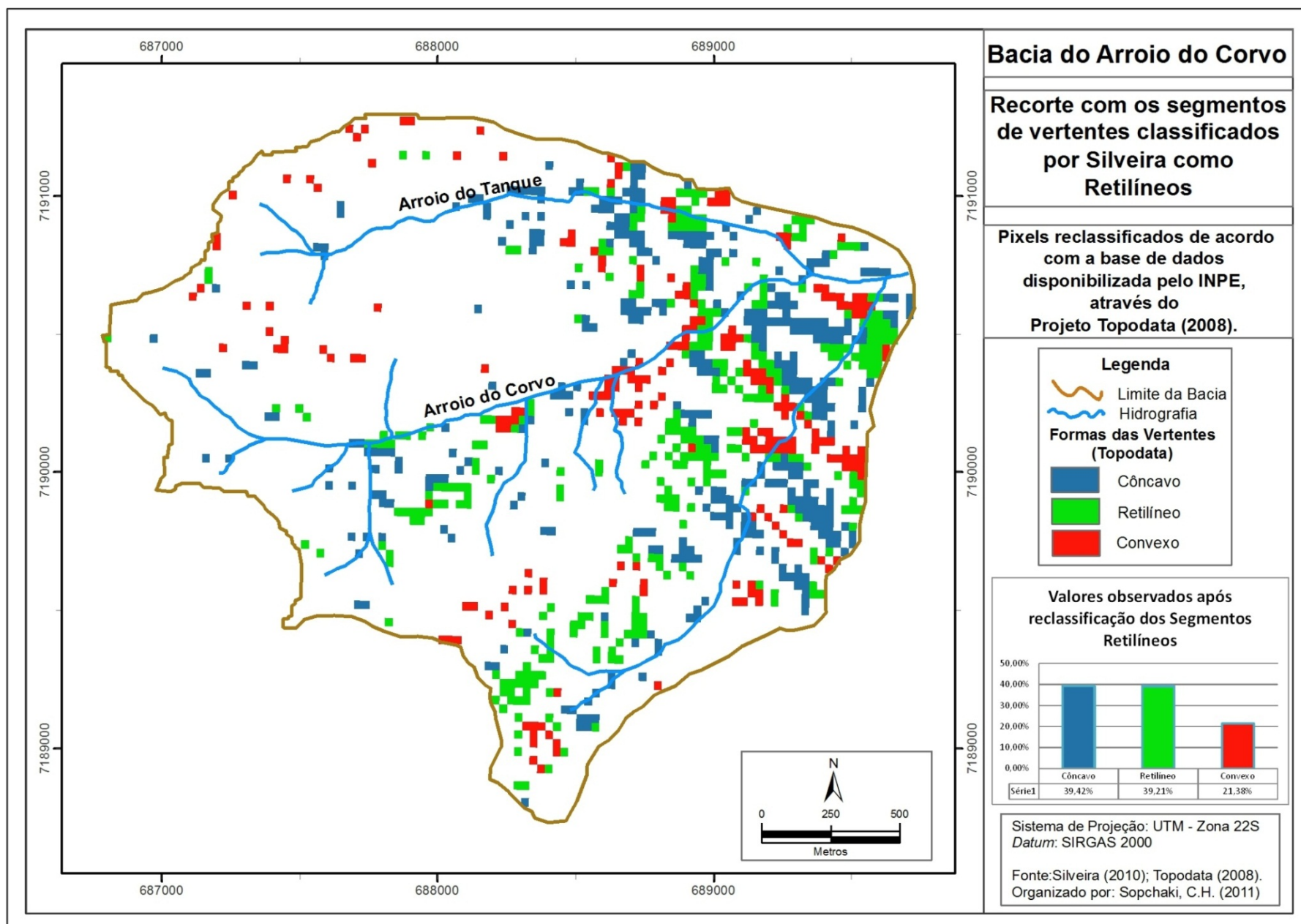
MAPA 12 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – FORMAS DE VERTENTES EM PERFIL SEGUNDO SILVEIRA

Após reclassificação dos segmentos de vertente aos quais Silveira (2010) classificou como retilíneos (MAPA 14), de acordo com o mapeamento de vertentes da base de dados do TOPODATA, os valores obtidos foram: 39,42% dos segmentos côncavos, 39,21% retilíneos e 21,38% convexos.

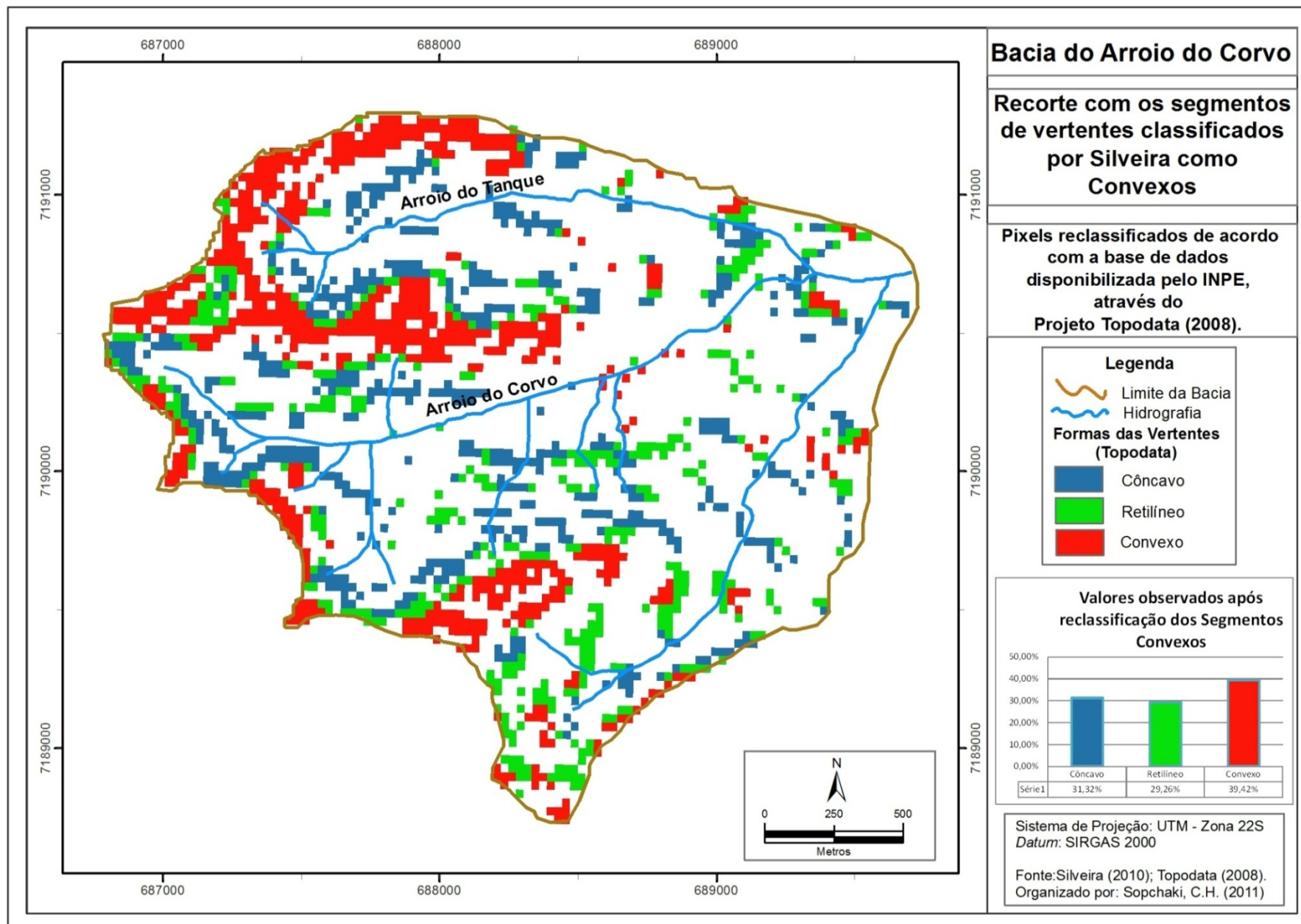
Com relação aos segmentos identificados por Silveira (2010) como sendo convexos, após reclassificação de acordo com a base de dados do projeto TOPODATA (MAPA 15), o resultado apresentado foi que 39,42% daqueles segmentos de vertentes são convexos, 31,32% são côncavos e 29,26% retilíneos.



MAPA 13 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO CÔNCAVOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



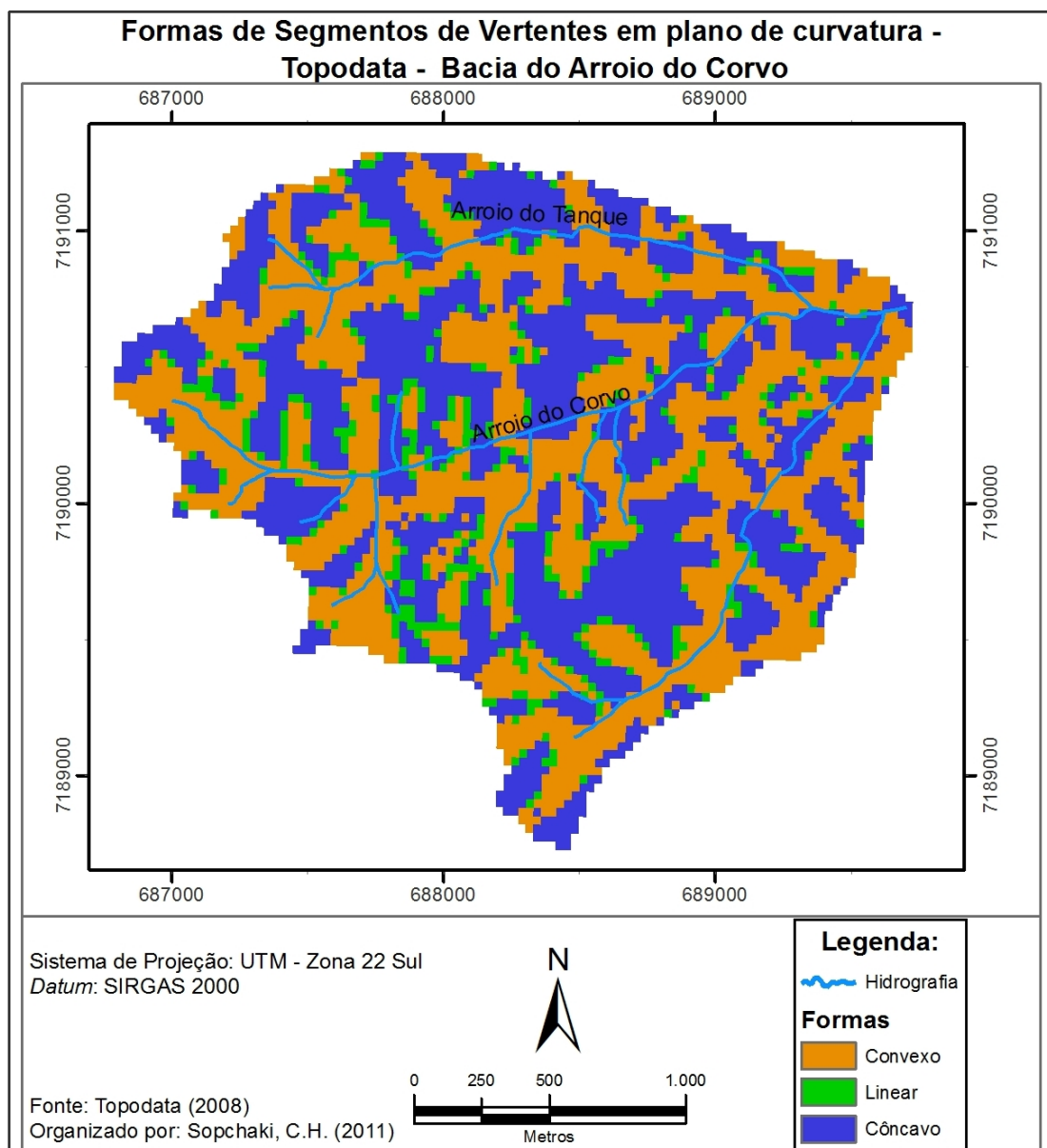
MAPA 14 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO RETILÍNEOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



MAPA 15 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO CONVEXOS – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA

4.2.1 Segmentos mapeados em plano de curvatura

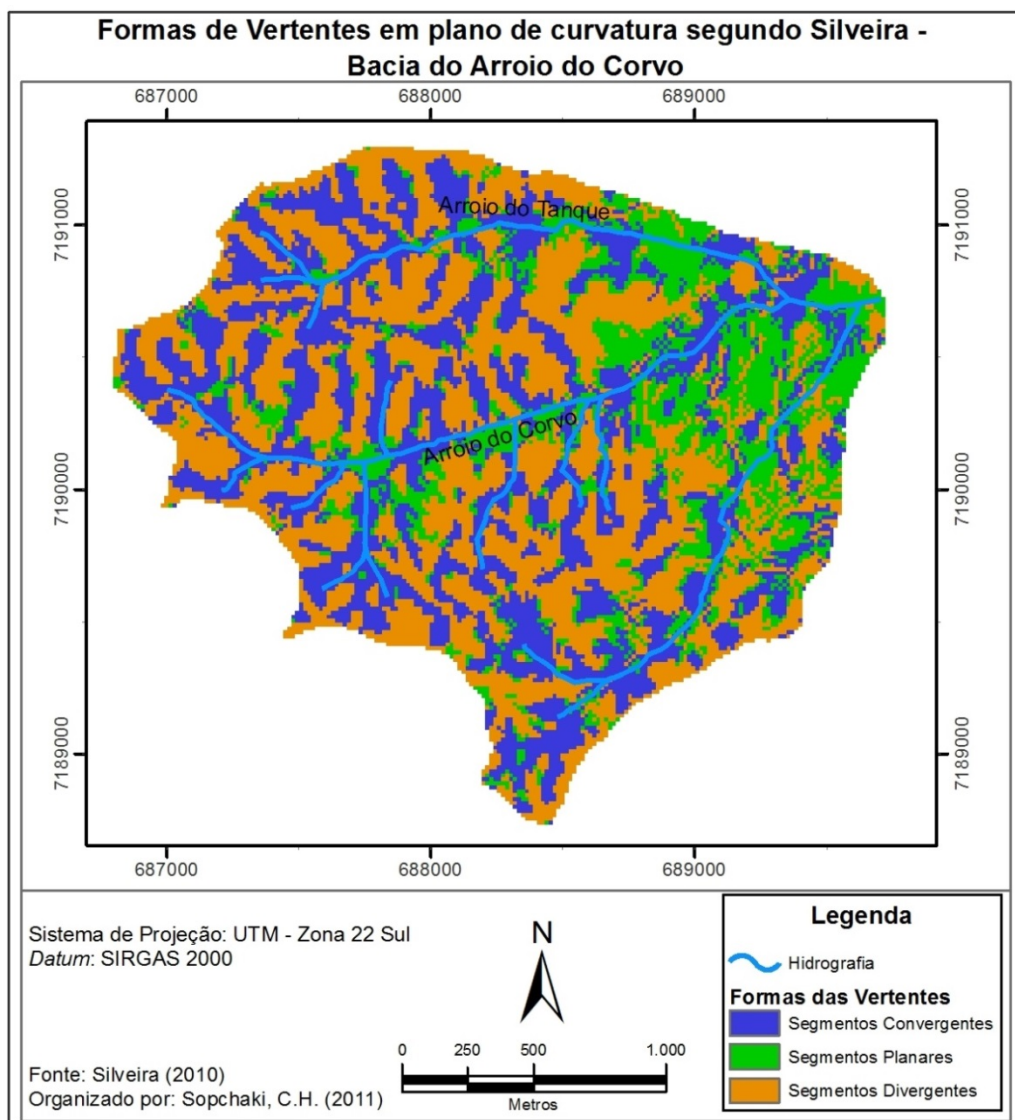
O MAPA 16 refere-se às formas de segmentos de vertentes em plano de curvatura de acordo com a base de dados do projeto TOPODATA. Para a extração destas foi utilizado o produto de Curvatura Horizontal na Forma Numérica.



MAPA 16 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – FORMAS DE VERTENTES EM PLANO DE CURVATURA DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA

Pela mesma razão que para curvaturas verticais, foi necessário se estabelecer uma faixa de valores admitidos como nulos para a classificação das vertentes planares. Para tal fim foi utilizada a metodologia proposta por Valeriano (2008b), que admite o intervalo entre $-0,038\%/m$ e $+0,051\%/m$ como sendo típico de terrenos planares.

O resultado do mapeamento de segmentos de vertentes segundo plano de curvatura elaborado por Silveira (2010) pode ser observado no MAPA 17. A partir dele foram separadas as classes para posterior reclassificação conforme base de dados do TOPODATA (apresentada no MAPA 16).



MAPA 17 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – FORMAS DE VERTENTES EM PLANO DE CURVATURA DE ACORDO SILVEIRA

O recorte com os segmentos de vertentes classificados por Silveira (2010) como convergentes e reclassificados a partir dos dados do projeto TOPODATA trazem como resultado (MAPA 18) que os valores observados após a reclassificação dos mesmos foram de 48,99% dos segmentos correspondem a convergentes, 42,28% a divergentes e 8,73% a planares.

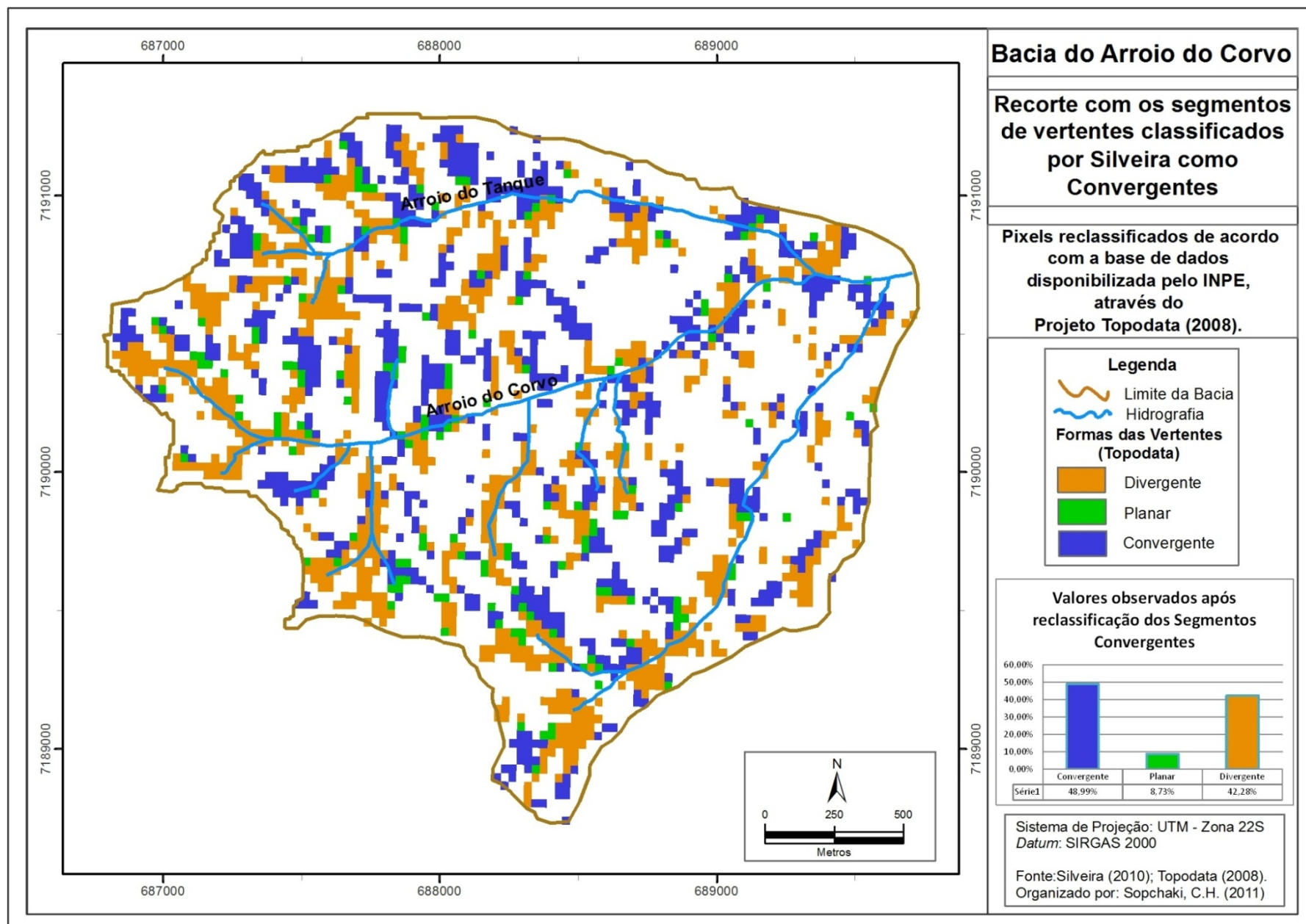
Com relação ao recorte com os segmentos de vertentes classificados por Silveira (2010) como sendo planares e reclassificados a partir dos dados obtidos no TOPODATA, conforme demonstrado no MAPA 19, os resultados demonstram que destas, somente 6,33% são consideradas planares pelo TOPODATA, 53,26% são identificadas como vertentes convergentes e 40,41% como vertentes divergentes.

Os segmentos de vertentes identificados por Silveira (2010) como sendo divergentes, após reclassificação (MAPA 20), apresentaram os seguintes valores: 48,62% divergentes, 42,59% convergentes e 8,79% planares.

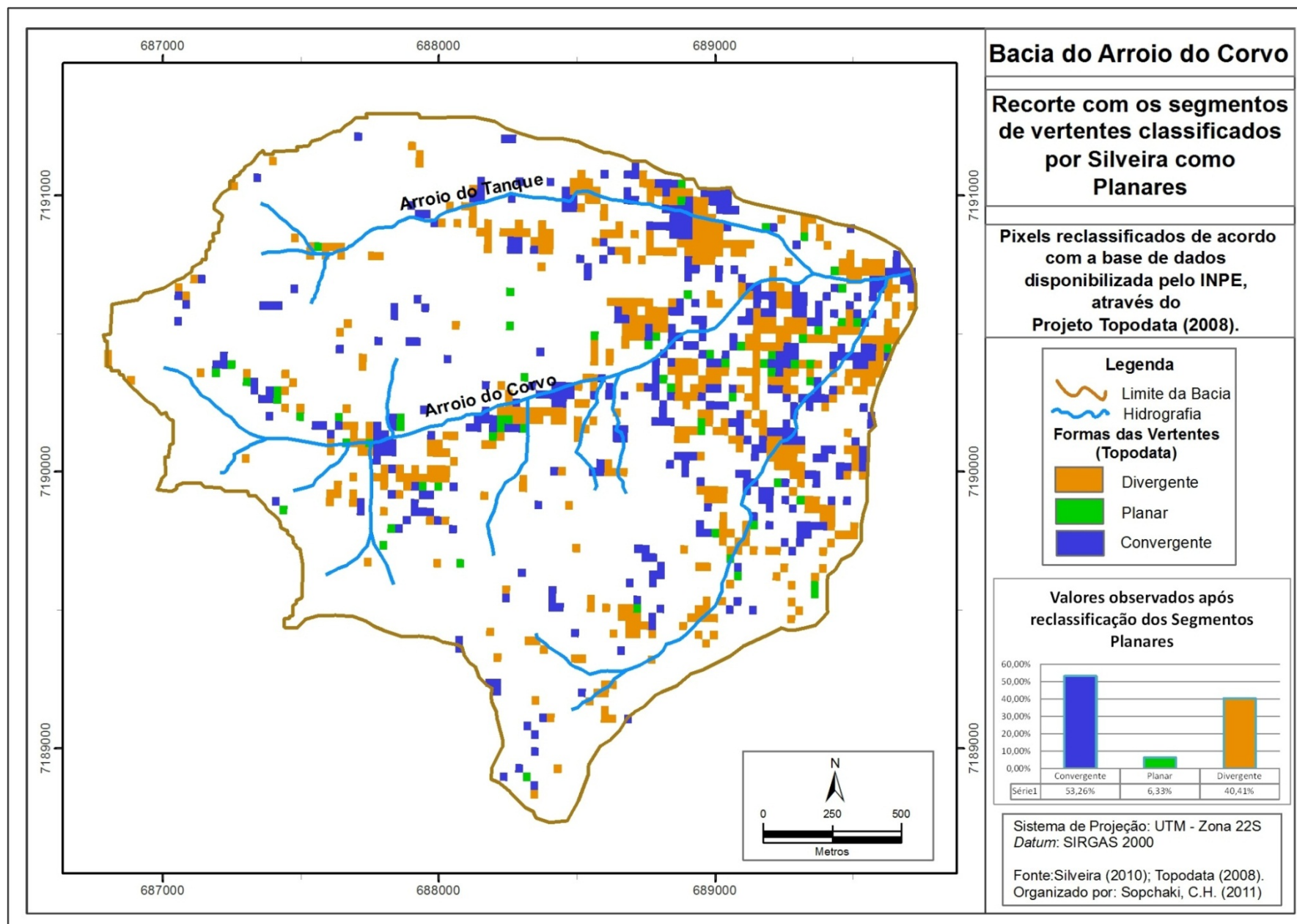
A análise e discussão dos resultados referentes ao mapeamento efetuado por Silveira (2010) segundo plano de curvatura fica extremamente limitada, pois nenhum dos outros trabalhos mapeou vertentes em plano, fazendo-o apenas em perfil.

A comparação direta dos resultados obtidos pelo autor com os adquiridos a partir da base de dados do TOPODATA é inevitável num primeiro momento, no entanto não se aplica. Os trabalhos foram elaborados sob escalas diferentes e mesmo que tivessem seguido a mesma metodologia, chegariam a resultados divergentes, por conta da diferença escalar.

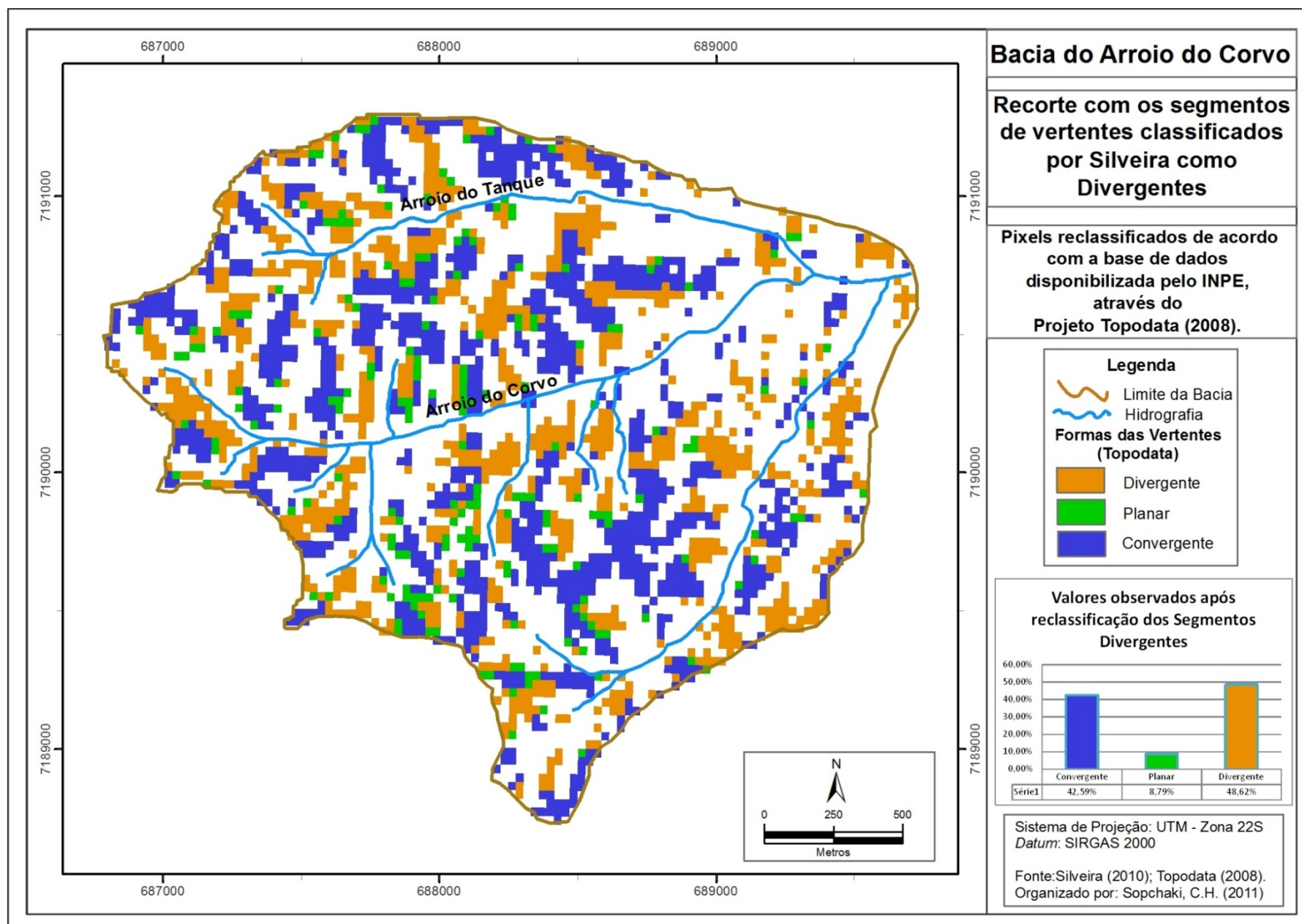
Vale ressaltar que Silveira (2010) se preocupou em mapear a vertente em perfil e plano de curvatura, identificando-a assim, em três dimensões, conforme a mesma é definida conceitualmente.



MAPA 18 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO CONVERGENTES – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



MAPA 19 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO PLANARES – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA



MAPA 20 - BACIA DO ARROIO DO CORVO – RECORTE COM OS SEGMENTOS CLASSIFICADOS POR SILVEIRA COMO DIVERGENTES – PIXELS RECLASSIFICADOS DE ACORDO COM A BASE DO TOPODATA

4.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS

O GRÁFICO 1 apresenta a comparação das formas de vertentes mapeadas como côncavas por Kozciak (2005), Cunico (2007) e por Silveira (2010) após reclassificação dos pixels de acordo com a base de dados do TOPODATA.

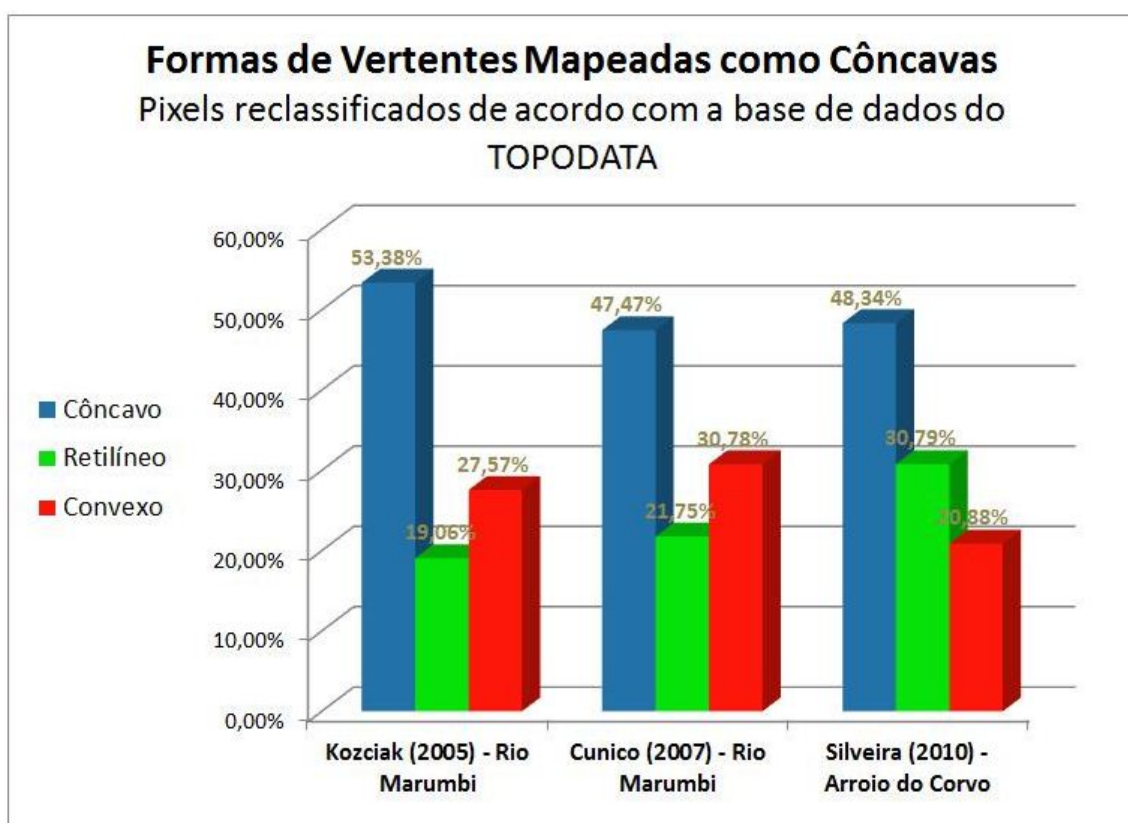


GRÁFICO 1 - FORMAS DE VERTENTES MAPEADAS COMO CÔNCAVAS – RECLASSIFICADAS DE ACORDO COM O TOPODATA – COMPARAÇÃO KOZCIAK – CUNICO – SILVEIRA
FONTE: O autor (2011)

Para as vertentes mapeadas como côncavas, a reclassificação com base nos dados do TOPODATA mostrou que os valores de Kozciak (2005) e Cunico (2007) são mais próximos entre si: cerca de 50% dos pixels côncavos, 30% convexos e 20% retilíneos.

Vale ressaltar que Kozciak (2005) e Cunico (2007) mapearam a mesma área, a Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi, porém com metodologias diferentes.

Embora haja uniformidade entre esses dois mapeamentos há que se destacar que a metodologia adotada por Cunico (2007) entra em conflito com o conceito de

vertente, pois identifica as vertentes a partir de perfis bidimensionais, enquanto as mesmas são conceituadas como elementos tridimensionais, conforme afirmam Savigear (1956, 1967), Young (1964, 1971), Dylík (1968), Ruhe (1975), Christofolletti (1980), Summerfield (1991), Thomas e Goudie (2000), Veloso (2002) e Bigarella *et al.* (2007).

Young (1971) já havia destacado o grau de subjetividade desta metodologia e que, possivelmente, diferentes mapeadores poderiam chegar a resultados divergentes utilizando a mesma base de dados. Porém essa subjetividade a que Young (1971) se refere também pode interferir positivamente no resultado do mapeamento, dependendo de fatores como o grau de experiência do mapeador, do conhecimento prévio da área, entre outros.

Houve ainda uma tendência entre os valores dos três mapeadores no que o TOPODATA identificou como côncavo, no entanto comparando as demais classes de Silveira (2010), não se observa a continuidade da mesma.

Embora tenha havido uma concordância entre os valores de Kozciak (2005) e Cunico (2007) após reclassificação dos *pixels*, conforme pode se observar nos mapeamentos, trata-se de uma coincidência estatística, pois não há correlação espacial na classe de vertentes Côncavas mapeadas pelas duas autoras.

Cabe ainda ressaltar a divergência em relação à classe côncava no TOPOTADA (TABELA 2), que foi inferior a 50% somente no trabalho realizado por Kozciak (2005). Cunico (2007) obteve um percentual de 52,53% de divergência em relação ao TOPODATA e Silveira (2010) divergiu em 51,66% dos *pixels* mapeados.

TABELA 2 - FORMAS DE VERTENTES IDENTIFICADAS COMO CÔNCAVAS - RECLASSIFICADAS A PARTIR DA BASE DE DADOS DO TOPODATA

Formas de Vertentes identificadas como Côncavas Reclassificadas a partir da base de dados do TOPODATA				
	Vertentes Côncavas	Vertentes Retilíneas	Vertentes Convexas	Divergência em Relação à Classe Côncava no TOPODATA
Kozciak (2005) Rio Marumbi	53,38%	19,06%	27,57%	46,62%
Cunico (2007) Rio Marumbi	47,47%	21,75%	30,78%	52,53%
Silveira (2010) Arroio do Corvo	48,34%	30,79%	20,88%	51,66%
Há consenso entre os mapeamentos?	Há somente entre os valores de Kozciak e Cunico.			

FONTE: O autor (2011)

Na comparação das formas de vertentes mapeadas como retilíneas (GRÁFICO 2) por Kozciak (2005), Cunico (2007) e Silveira (2010) há uma convergência entre os valores de Kozciak e de Silveira, no entanto os valores de Cunico são bem discrepantes.

A metodologia utilizada por Kozciak (2005) e por Silveira (2010) é bastante similar, ambos geraram a curvatura das vertentes a partir de MDE's, por outro lado, Cunico (2007) trabalhou com identificação visual a partir do espaçamento entre as curvas de nível.

Embora haja concordância nos valores da classe retilínea de Kozciak (2005) e Silveira (2010), ambos apresentam divergências em relação ao TOPODATA (TABELA 3) próximas de 60%, sendo 56,31% de valores divergentes referentes ao mapeamento de Kozciak (2005) e 60,79% de divergência nos valores identificados por Silveira (2010).

Kozciak (2005) e Silveira (2010) conseguiram chegar a um resultado com três classes de certeza (côncava, retilínea e convexa), enquanto Anjos (2008), ao utilizar metodologia similar, obteve como resultado cinco classes, sendo as três de certeza e duas de **incerteza**: convexa-retilínea e retilínea-côncava.

Por razões já explicitadas anteriormente não estão sendo analisados aqui os resultados dos mapeamentos efetuados em plano de curvatura por Silveira (2010).

Ainda que as metodologias de Kozciak (2005) e de Silveira (2010) se assemelhem em muitos aspectos, há que se ressaltar que Kozciak (2005) não completou o processo de identificação da vertente em três dimensões, posto que a fez somente em perfil de curvatura.

Para que a identificação das vertentes ocorra em três dimensões é necessário associar o perfil de curvatura ao plano de curvatura, para que se estabeleçam os limites superiores, inferiores, laterais e internos.

Nas formas identificadas como retilíneas nenhum dos três mapeamentos apresentou convergência em relação ao TOPODATA. Cunico (2007) obteve valores de divergência ainda maiores: 82,78% dos pixels identificados pela autora como retilíneos para o TOPODATA eram convexos ou côncavos.

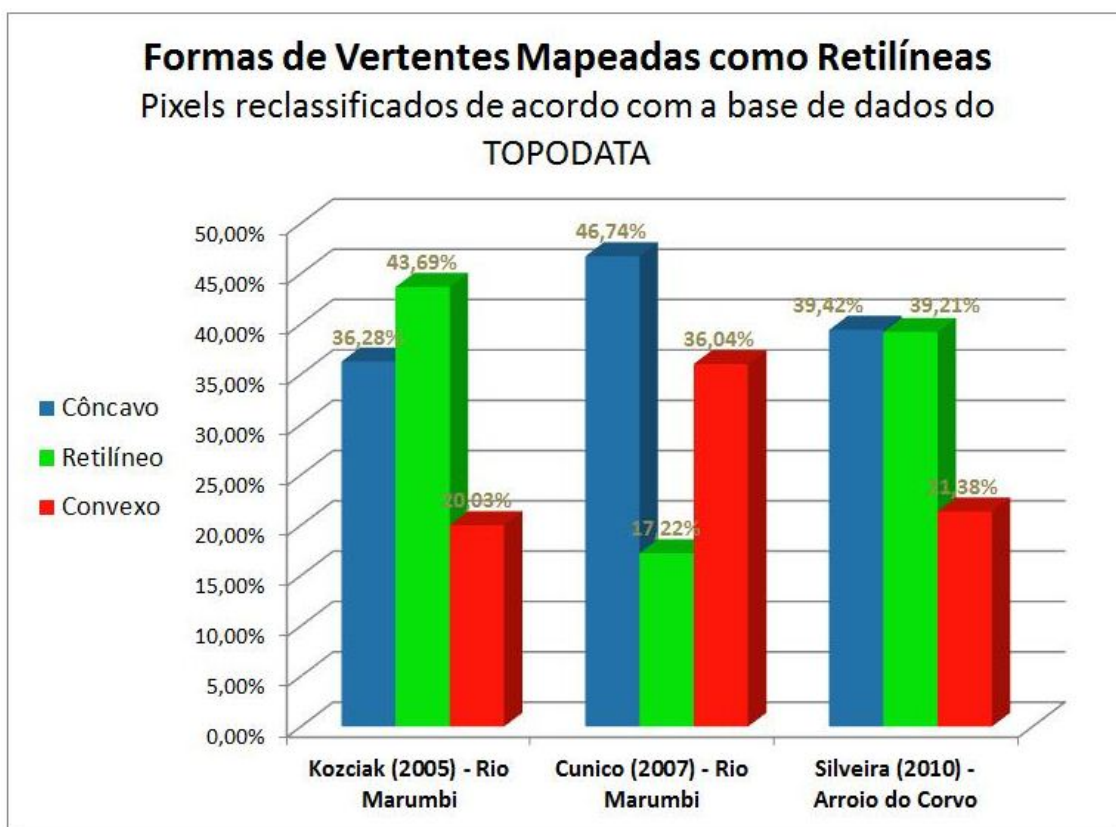


GRÁFICO 2 - FORMAS DE VERTENTES MAPEADAS COMO RETILÍNEAS – RECLASSIFICADAS DE ACORDO COM O TOPODATA – COMPARAÇÃO KOZCIAK – CUNICO – SILVEIRA
FONTE: O autor (2011)

No caso específico do mapeamento realizado por Cunico (2007), já era esperado baixo índice de convergência para a classe retilínea pois, a autora mapeou

uma área como sendo planície, a qual foi identificada pelo TOPODATA com predominância de segmentos retilíneos.

No entanto o índice de divergência na classe retilínea foi alto para todos os autores, o que indica que nos casos desses mapeamentos, segmentos identificados como retilíneos são classificados, majoritariamente, como côncavos ou convexas para o TOPODATA.

TABELA 3 - FORMAS DE VERTENTES IDENTIFICADAS COMO RETILÍNEAS - RECLASSIFICADAS A PARTIR DA BASE DE DADOS DO TOPODATA

Formas de Vertentes identificadas como Retilíneas				
Reclassificadas a partir da base de dados do TOPODATA				
	Vertentes Côncavas	Vertentes Retilíneas	Vertentes Convexas	Divergência em Relação à Classe Retilínea no TOPODATA
Kozciak (2005) Rio Marumbi	36,28%	43,69%	20,03%	56,31%
Cunico (2007) Rio Marumbi	46,74%	17,22%	36,04%	82,78%
Silveira (2010) Arroio do Corvo	39,42%	39,21%	21,38%	60,79%
Há consenso entre os mapeamentos?	Há somente entre os valores de Kozciak e Silveira.			

FONTE: O autor (2011)

Ao se analisar as formas de vertentes mapeadas como convexas (GRÁFICO 3) por Kozciak (2005), Cunico (2007) e Silveira (2010), verifica-se que para esta classe há uma divergência entre os três mapeamentos. Pode-se afirmar que se aproximam apenas os valores reclassificados pelo TOPODATA como retilíneos de Kozciak e Cunico; e os valores convexas de Cunico e Silveira.

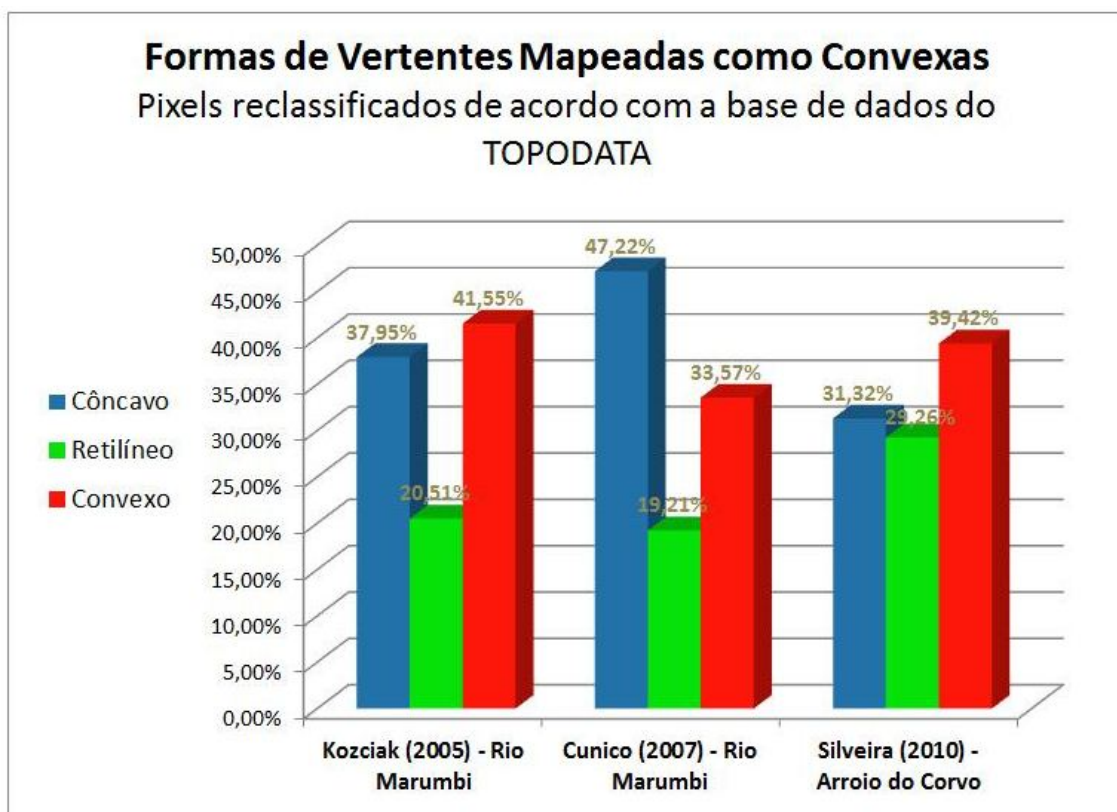


GRÁFICO 3 - FORMAS DE VERTENTES MAPEADAS COMO CONVEXAS – RECLASSIFICADAS DE ACORDO COM O TOPODATA – COMPARAÇÃO KOZCIAK – CUNICO – SILVEIRA
 FONTE: O autor (2011)

Assim como na classe retilínea, nesta também há divergência dos valores mapeados (TABELA 4) em todos os autores. Para Kozciak (2005) a divergência em relação à classe convexa no TOPODATA foi de 58,45%, Cunico (2007) obteve 66,43% de divergência e Silveira (2010) divergiu em 60,58% dos *pixels* mapeados.

Os altos índices de divergências encontrados entre o TOPODATA e os demais mapeamentos se devem, provavelmente, às diferentes metodologias aplicadas, como também, podem ser reflexos das escalas de análise, bem como, de problemas conceituais e metodológicos que envolvem o conceito e identificação de formas de vertentes.

Com relação às possíveis divergências no que diz respeito à escala, pré-testes realizados para esta pesquisa demonstraram que a forma identificada na vertente irá variar de acordo com a resolução e/ou escala da base que o mapeador/pesquisador estiver trabalhando. Os resultados sugeriram que, ao se gerar a forma das vertentes, a partir de modelagem matemática utilizando DEM's como base, quanto maior a resolução espacial, mais *pixels* tenderão a ser identificados como retilíneos.

TABELA 4 - FORMAS DE VERTENTES IDENTIFICADAS COMO CONVEXAS - RECLASSIFICADAS A PARTIR DA BASE DE DADOS DO TOPODATA

Formas de Vertentes identificadas como Convexas				
Reclassificadas a partir da base de dados do TOPODATA				
	Vertentes Côncavas	Vertentes Retilíneas	Vertentes Convexas	Divergência em Relação à Classe Convexa no TOPODATA
Kozciak (2005) Rio Marumbi	37,95%	20,51%	41,55%	58,45%
Cunico (2007) Rio Marumbi	47,22%	19,21%	33,57%	66,43%
Silveira (2010) Arroio do Corvo	31,32%	29,26%	39,42%	60,58%
Há consenso entre os mapeamentos?	Não.			

FONTE: O autor (2011)

O mapeamento efetuado por Cunico (2007) aplicando a metodologia de análise por perfis teve o mérito de chegar a um resultado com três classes de certeza (côncavo, retilíneo e convexo), além da classe de planície que autora mapeou. Outros autores ao utilizarem essa metodologia esbarraram em problemas conceituais-metodológicos e enquadraram as vertentes em classes de incerteza.

Florenzano (2008) adotou uma quarta classe denominada composta, Santos (2000) acrescentou a noção de vertente ligeiramente convexa, Soares (2008) descreveu vertentes heterogêneas e complexas.

Diversos autores (Mardones e Vidal, 2001; García e Blanco, 2005; Perego *et al.*, 2011; Aucelli *et al.*, 2010; Mentlík e Novotná, 2010; Lehmkuhl *et al.*, 2010; Latocha, 2009; Grecu, 2009; Ruiz-Fernandez, 2011; Borchardt, 2005; Tabalipa, 2008) abordaram a relevância da forma das vertentes para a abordagem metodológica de suas pesquisas, contudo não obtiveram êxito em mapeá-las, mesmo em alguns casos tendo colocado como um dos objetivos a identificação das formas das vertentes.

Em contraposição, Kozciak (2005), Cunico (2007) e Silveira (2010), mesmo que divergindo em várias classes entre si e entre o TOPODATA, conseguiram delimitar as formas dos segmentos de vertentes.

Kozciak (2005) obteve as menores divergências em relação ao TOPODATA em todas as classes, enquanto o mapeamento elaborado por Cunico (2007) foi o que mais divergiu, possivelmente por conta da adoção de metodologia de identificação de formas a partir de perfis bidimensionais e também pelo processo de generalização adotado pela autora.

Chamam a atenção os valores de Silveira (2010) que ficaram num patamar intermediário no que diz respeito às divergências, pois o autor trabalhou com a maior escala entre todos os pesquisadores aqui analisados (1:10.000) e ainda ficou mais próximo em relação aos dados do TOPODATA do que o mapeamento de Cunico (2007).

O fato dos mapeamentos elaborados por Kozciak (2005) e Silveira (2010) terem alcançado um percentual menor de divergência em relação ao TOPODATA se deve, provavelmente, ao fato das metodologias adotadas por esses autores para identificação das vertentes serem semelhantes à do TOPODATA.

Contudo, os resultados demonstraram que não há congruência entre os mapeamentos, ou seja, o que um pesquisador e/ou TOPODATA está denominando como retilíneo, por exemplo, para outro pesquisador e/ou TOPODATA pode ser uma forma análoga.

O que se pode inferir é que, no caso da Bacia do Rio Marumbi, quando Kozciak (2005) ou Cunico (2007) definem uma vertente ou segmento de vertente como sendo Côncava é porque, em relação ao TOPODATA, cerca de 50% dos seus pixels correspondem a segmentos côncavos, 30% a convexos e 20% a retilíneos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As vertentes, enquanto elemento básico da paisagem são formas de extrema importância no mapeamento geomorfológico, no estudo de estabilidade de taludes e em estudos de impacto ambiental para os mais variados fins.

Contudo observa-se que ainda existem lacunas e incongruências a serem preenchidas no que diz respeito ao conceito de vertente, não se observando consenso conceitual e, principalmente, não se observando conceito que aborde o limite lateral das mesmas.

Esta pesquisa demonstrou a dificuldade em se estabelecer um conceito adequado para vertentes e, conseqüentemente para o mapeamento da forma das mesmas. O intuito deste trabalho não foi o de identificar uma metodologia mais adequada para fins de mapeamento, mas sim o de verificar se as metodologias convergiam em algum ponto possibilitando obter critérios/parâmetros que possam ser empregados no processo de mapeamento e/ou generalização cartográfica relativa à forma das vertentes.

A metodologia adotada por Cunico (2007), de identificação da forma da vertente através do perfil assumido pelas curvas de nível, leva a um processo subjetivo, onde mais de um mapeador trabalhando no mesmo local, com os mesmos materiais cartográficos e empregando a mesma escala, identifique formas diferentes.

A simplificação da forma tridimensional por representações bidimensionais normalmente implica em processos subjetivos de generalizações e extrapolações, no sentido de enquadrar partes representáveis da vertente. O agente mapeador reduz a superfície complexa das vertentes a um modelo único, a fim de enquadrá-la em um perfil.

Kozciak (2005) aplicou a metodologia baseada na obtenção de MDE's e geração automática da curvatura a partir de modelos matemáticos. No entanto, o resultado é um mapeamento *pixel a pixel*, sem a aplicação de processos de generalização cartográfica, fazendo com que o produto final fosse de difícil compreensão e aplicação.

Um mapa final de formas de vertentes no formato *pixel a pixel*, conforme apresentado por Kozciak (2005), que não passou por um processo de generalização

cartográfica é de difícil compreensão para planejadores urbanos, gestores ambientais, Defesa Civil, enfim usuários finais que não dominem ferramentas de SIG.

Não raro, o mapeamento de forma de vertentes é utilizado como subsídio para elaboração de Planos Diretores, planos de ocupação/desocupação de áreas, planejamento estratégico da Defesa Civil, entre outros. Estes usuários necessitam de respostas imediatas, ou seja, formas generalizadas.

Cunico (2007), apesar de não explicitar quais os critérios foram empregados pela mesma no processo de generalização cartográfica, após a identificação das formas via perfis empregou o referido processo fazendo com que o resultado final fosse de mais fácil aplicação e leitura.

Com as tecnologias disponíveis atualmente, tanto relativas aos SIG's quanto as empregadas na geração de modelos digitais elevação, torna-se possível conceber e buscar uma metodologia única para identificar a forma de vertentes, baseada em modelos matemáticos, tal qual foram analisados aqui nesta pesquisa os trabalhos de Kozciak (2005) e Silveira (2010).

Porém, torna-se necessário desenvolver uma metodologia de generalização cartográfica, que permita extrapolar e generalizar a partir das formas observadas nos *pixels* para a forma da vertente, permitindo que esses mapeamentos ampliem sua gama de aplicação e reduzam as subjetividades inerentes ao processo de produção.

Finalmente, analisando-se as três metodologias distintas aplicadas em duas bacias hidrográficas, concluiu-se que não há uniformidade entre os resultados dos mapeamentos das formas das vertentes. Sendo assim, além do problema conceitual, persiste o metodológico. No entanto, para avançar neste, é necessário dirimir as questões inerentes àquele.

As diversas metodologias utilizadas para mapear vertentes, quando contrapostas, demonstram, a partir de seus resultados distintos, que as vertentes acabam não tendo uma delimitação clara e precisa. Os limites e formas designados às vertentes variam de acordo com a metodologia utilizada pelo pesquisador.

Infere-se que o problema de delimitação das vertentes é geométrico, pois diferentes metodologias definem a mesma vertente com limites divergentes e com

formas distintas, ora totalmente discrepantes, ora com percentuais diferentes para cada forma encontrada em determinada região.

Tal fato faz com que a utilização posterior desses mapeamentos de vertentes, sejam estes produtos primários de pesquisas, sejam produtos finais, sofra forte influência da metodologia utilizada. A interpretação sobre o papel de uma vertente nos processos estudados pelo pesquisador fica, de certa forma, conectada aos problemas metodológicos que antecederam este processo.

Sendo assim, as decisões a serem tomadas, a partir da forma da vertente e dos processos ligados a ela, podem ser prejudicadas por análises equivocadas efetuadas nas etapas anteriores, seja por problemas de ordem conceitual e/ou metodológica.

Observa-se, portanto, que há ainda muitas questões a serem equacionadas no que diz respeito à morfometria de vertentes, tanto conceitual, quanto metodologicamente, cabendo aos mapeadores, ante aos diferentes objetivos e possibilidades do mapeamento de vertentes, atentar para os problemas apontados por esta pesquisa.

Longe de apontar uma solução para o mapeamento de formas de vertentes, a presente pesquisa enfatizou os problemas conceituais e metodológicos inerente ao tema, e espera poder subsidiar novos estudos cuja abordagem seja a morfometria de vertentes.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A.. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ANJOS, D. S. **Classificação da curvatura de vertentes em perfil via thin plate spline e inferência fuzzy**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – UNESP, Presidente Prudente, 2008.

ARGENTO, M. S. F. Mapeamento Geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

AUCELLI, P.P.C.; ROBUSTELLI, G.; ROSSKOPF, C.M.; SCARCIGLIA, F.; DI PAOLA, G; LUCA, F. Geomorphological Map of the Area Between Frosolone and Trivento. **Journal of Maps**, p. 423-434, 2010.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2ª. ed. Florianópolis: UFSC, v. 3, 2007.

BORCHARDT, N. **Diagnóstico geológico-geotécnico na estabilidade das vertentes do alto e médio curso da bacia do rio Sagrado, PR**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – UFPR, Curitiba, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CUNICO, C. **Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi – PR: Perspectiva para a Análise e Avaliação das Condições Sócio-Ambientais**. 176 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFPR, Curitiba, 2007.

DALRYMPLE, J.B.; BLONG, R.J.; CONACHER, A.J. A hypothetical nine unit landsurface model. **Geomorphology**, Berlin, v. 12, p. 60-76, 1968.

DIKAU, R.; RASEMANN, S.; SCHMIDT, J. Hillslope, Form. In: GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**. London and New York: Routledge, 2006.

DYLIK, J. Notion du versant en geomorphologie. **Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences**. Series des Sciences Geologiques ET Geographiques, 1968.

ESRI. **How Curvature Works**. Disponível em: http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/NET/shared/geoprocessing/spatial_analyst_tools/how_curvature_works.htm. Acesso em: 21 Jan. 2012.

FINLAYSON, B; STATHAM, I. **Hillslope Analysis**. London: Butterworth, 1980.

FLORENZANO, T. G. Cartografia. In: _____. (ORG.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GARCÍA, F. M.; BLANCO, J. L. Caracterización de las unidades ambientales biofísicas del Glacis de Buenavista, Morelos, mediante la aplicación del enfoque geomorfológico morfogenético. **Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía**. Universidad Nacional Autónoma de México, nº 58, p. 34-53, 2005.

GRECU, F. Geomorphological Map of the Prahova Subcarpathians (Romania). **Journal of Maps**, p. 108-116, 2009.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981.

KOZCIAK, S. **Análise determinística da estabilidade de vertentes na bacia do rio Marumbi - Serra do Mar - Paraná**. 141 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – UFPR, Curitiba, 2005.

LATOCHA, A. The Geomorphological Map as a Tool for Assessing Human Impact on Landforms. **Journal of Maps**, p. 103-107, 2009.

LEHMKUHL, L.; LOIBL, D.; BORCHARDT, H. Geomorphological map of the Wustebach (Nationalpark Eifel, Germany) - an example of human impact on mid-European mountain areas. **Journal of Maps**, p. 520-530, 2010.

LIJPHART, A. Comparative Politics and the Comparative Method. **The American Political Science Review**. Vol. 65, No. 3., p. 682-693, 1971.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3ª ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MARDONES, M.; VIDAL, C. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. **EURE**. Santiago, vol.27, n.81, p. 97-122, 2001.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

MENTLÍK, P.; NOVOTNÁ, M. Elementary forms and “scientific reliability” as an innovative approach to geomorphological mapping. **Journal of Maps**, p. 564-583, 2010.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ SA. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: MINEROPAR, 2001.

MOMBEIG, P. A geografia no ensino secundário. In: **Boletim geográfico**, v.3, n.26, 1945.

OSTERKAMP, W. R. **Annotated Definitions of Selected Geomorphic Terms and Related Terms of Hydrology, Sedimentology, Soil Science and Ecology**. Reston, Virginia: Open File Report, 2008.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

PEREGO, A.; ZERBONI, A; CREMASCHI, M. Geomorphological Map of the Messak Settafet and Mellet (Central Sahara, SW Libya). **Journal of Maps**, p. 464-475, 2011.

RUHE, R. V. Geomorphic processes and surficial geology. In: **Geomorphology**. Boston: Houghton Mifflin Company, 1975.

RUIZ-FERNANDEZ, J. Geomorphological map of an Atlantic mid-height mountain area: the Juan Robre and Jana Ridge (Cantabrian Range, Northwest Spain). **Journal of Maps**, p. 260-272, 2011.

SAMPAIO, T.V.M.; AUGUSTIN, C.H.R.R. **Análise das incongruências dos índices de dissecação e rugosidade.** Anais do VII Encontro Nacional de Geomorfologia. Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, L. J. C. **Pedogênese no topo do Platô de Bauru (SP): o caso da Bacia do Córrego da Ponte Preta.** 183 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - FFLCH – USP, São Paulo, 2000.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.7, n.2, p. 3-11, 2006.

SAVIGEAR, R. A. G. **Technique and terminology in the investigation of slope forms.** Premier Rap. De la Commission pour l'Etude des Versants, Rio de Janeiro, 1956.

_____. **The analysis and classification of slope profile forms.** L'Evolution des Versants, Liège, França, 1967.

SEMA. PROGRAMA DE PROTEÇÃO DA FLORESTA ATLÂNTICA. **Caracterização da Atividade Mineral.** Curitiba: SEMA/MINEROPAR/PRO-ATLÂNTICA, 2002.

SILVEIRA, C. T. da. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais.** 153 f. Tese (Doutorado em Geografia) – UFPR, Curitiba, 2010.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio de atributos do terreno, índices espectrais e geologia integrados por redes neurais artificiais.** 102p. Tese (Doutorado em Geologia) - UFPR, Setor de Ciências da Terra, Curitiba, 2008.

SMALL, R. J.; CLARK, M. J. **Slopes and Weathering.** New York: Cambridge, 1982.

SOARES, F. P. **Cartografia Morfológica de Detalhe e Intervenções Antrópicas no Alto Jacareí: Subsídios à Avaliação da Degradação Ambiental do Sistema Cantareira.** 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – FFLCH-USP, São Paulo, 2008.

SOPCHAKI, C. H. **Estudo comparativo de metodologias para mapeamento das formas de vertentes – Bacia do Rio Curralinho/PR**. 35p. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) - UFPR, Curitiba, 2011.

SOPCHAKI, C. H.; SAMPAIO, T. V. M. **Vertentes: discussão sobre conceitos e técnicas de classificação**. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Dourados/MS, 2011.

SUDERHSA. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná Governo do Estado do Paraná**. Curitiba: SUDERHSA, 1998.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology, an Introduction to Study of Landforms**. New York: Logman, 1991.

TABALIPA, N. L. **Estudo da estabilidade de vertentes da bacia do rio Ligeiro, Pato Branco, Paraná**. 243 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – UFPR, Curitiba, 2008.

THOMAS, D. S. G.; GOUDIE, A. **The dictionary of physical geography**. Singapura: Blackwell Publishing Ltda, 2000.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, v.263, p.616-627, 1965.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, nº 3, p. 539-546, 2003.

_____. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004.

_____. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, p. 3595-3602, 2005.

VALERIANO, M. M. Dados Topográficos In: FLORENZANO, T. G.; (ORG.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008a.

_____. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. - São José dos Campos: INPE, 2008b.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **TOPODATA: seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM** - São José dos Campos: INPE, 2008.

VELOSO, A. J. G. Importância do estudo das vertentes. **GEOgraphia**, v. 4, n. 8, 2002. Disponível em: <http://www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/article/view/89>. Acesso em: 06 Jul. 2010.

VERVLOET, R. J. H. M. **Condicionantes morfológicos e estruturais na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Benevente – Espírito Santo**. 478 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – FFLCH-USP, São Paulo, 2009.

YOUNG, A. Slope Profile Analysis. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Supplementband, 1964.

_____. Slope profile analysis: the system of best units. In: BRUNDSSEN, D. **Slopes form and process**. London: Institute of British Geographers, 1971.

_____. **Slopes (Geomorphology texts; 3)**. 2. ed. New York: Longman, 1972.

ZEVEBERGEN, L. W.; THORNE, C. R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. **Earth Surface Processes and Landforms**, Vol. 12, p. 47 – 56, 1987.